宇称不守恒发现之争论解谜

李政道答《科学时报》记者杨虚杰问及有关资料

季承 柳怀祖 滕丽 编



甘肃科学技术出版社



李政道

1926年生于上海，祖籍江苏省苏州市。抗战期间曾在浙江大学、西南联合大学学习。1946年赴美国芝加哥大学攻读博士学位，师从物理学大师费米教授。因发现宇称不守恒定律与杨振宁共获1957年诺贝尔物理奖。在物理学领域有很多杰出成就，多次荣获各种奖，至今一直活跃在物理学的前沿。在中国极力提倡重视基础研究，促成中美在高能物理领域的合作，帮助建成北京正负电子对撞机。他创办了中国高等科学技术中心等多个学术组织，建议设立博士后制度和完善自然科学基金制度，创办中美联合招考物理研究生项目，为促进中国科学和教育的发展，做出了重要贡献。现为美国哥伦比亚大学教授、美国科学院院士、中国科学院外籍院士、意大利科学院院士；是北京大学、清华大学、中国科学技术大学、浙江大学、复旦大学等十几所大学的名誉教授；是美国普林斯顿大学、洛克菲勒大学、纽约市立大学、哥伦比亚大学、意大利博洛尼亚大学、中国北京大学等十几所大学的名誉博士

宇称不守恒发现之争论解谜

——李政道答《科学时报》记者杨虚杰问及有关资料

季　承　柳怀祖　滕　丽　编

甘肃科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

宇称不守恒发现之争论解谜：李政道答《科学时报》记者杨虚杰问及有关资料/季承，柳怀祖，腾丽编．兰州：甘肃科学技术出版社，2004
ISBN 7-5424-0929-8

Ⅰ.宇… Ⅱ.①季… ②柳… ③腾… Ⅲ.宇称-能量守恒定律-研究 Ⅳ.0572.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第028514号

责任编辑 王郁明 何晓东
封面设计 陈 楠

出版 甘肃科学技术出版社(兰州市南滨河东路520号)
发行 甘肃人民出版社发行部(兰州市第一新村123号)
印刷 天水新华印刷厂(甘肃省天水市秦城区赤峪路109号)
开本 850mm×1168mm 1/32
印张 8.875
字数 219 520
版次 2004年4月第1版 2004年4月第1次印刷
印数 1~2000
定价 20.00元

编 者 的 话

我们编辑出版的是一部特殊的历史性文集。

2002年在台湾出版了江才健著的《杨振宁传》[1]。在这本传记里,作者用很大的篇幅叙述了李政道和杨振宁合作和分裂的故事。

李政道和杨振宁这两位中华民族的精英、奇才,他们在科学上所创造的,具有划时代意义的革命性的成就,震撼了整个世界,特别是中华民族的心灵。中华民族为有了他们而永远感到自豪和骄傲。

不幸的是,在他们之间产生了裂痕。他们那种令世界科技界赞羡不已的合作关系破裂了。李杨合分,或者说李杨之争,是一场悲剧,为世人所关注,也必然地会为世人所批评和论证。无论怎么说,它的确是一件令人很觉遗憾和十分可惜的事情。

但是,李杨之争是历史事实,是现实,不能回避。李杨最后一次的科学合作是在四十多年前的1962年。在他们的合作破裂后,李政道对其中是非曲直,一直保持沉默。20年后,1982年杨振宁首次公开发表他对李杨分歧的描写[2];1986年李政道发表了他第

① 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002

② Chen Ning Yang. Selected Papers 1945—1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983

一次,也是截止到现在惟一的一次书面说明[1][2]。李政道所回忆的事实经过,与杨振宁的叙述大有差异。之后,李政道又回到以前的沉默。但是17年后的今天,江才健著的《杨振宁传》的出版,再一次打破了李政道的沉默,使这一事件再度浮现在人们的面前。

什么原因使李杨之间很成功的合作产生了分歧?什么原因使这应该很愉快的合作转变成现在的悲剧?谁应对这一悲剧负责?事实的真相是什么?我们从这一悲剧中,可以总结出什么样的教训?……许多问题摆在我们面前。要解答这些问题,需要真实的材料,需要了解事情的真相。

杨振宁从1982年起,先以英文论文选集加注释的形式,将有关这一不幸事件的情形以他的个人看法正式发表出来。之后,在1998年,又在中国出版了他的文集并有更多的中文文章发表[3]。他认为这一不幸事件的责任全在李政道身上。

李政道1986年用英文发表了有关这一问题的文章。他本来打算就此为止,永不开口,让历史去做裁判。

可是,杨振宁以"有朝一日我必须把真相公之于世"的决心[4]促成了最近《杨振宁传》的出版,点燃了新一轮的争论。究竟这"真相"是什么呢?李政道能够沉默吗?

李杨之争这一悲剧情况特殊,从根本上与科学史上其他的类似争论大有区别,有其探讨的价值。杨振宁作为争论的一方已经

---

① T.D.Lee. Broken Parity. T.D.Lee Selected Papers, volume 3. Boston: Birkhauser Inc., 1986.487~509

② T.D.Lee. Reminiscences. R. Novick ed. Thirty Years Since Parity Nonconservation. Ed. by R. Novick. Boston: Birkhauser Inc., 1988.153~165

③ 杨振宁文集.华东师范大学出版社,1998
叶中敏.人情物理杨振宁.中文大学出版社,2002

④ 杨振宁文集.华东师范大学出版社,1998.62
Chen Ning Yang. Selected Papers 1945—1980 with Commentary. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1983. 30

充分地表达了他自己的看法。因此将争论的另一方,即李政道就此问题答记者问,以及他提供的有关资料汇集出版是有必要的。我们尽力使这件事情的是非曲直,前因后果均收集在此文集中。

李杨合分的一个关键问题是,1956年提出,1957年获诺贝尔奖的论文思想,即弱作用中宇称不守恒这一思想的突破,是李杨二位中谁第一个提出来的。杨振宁1982年发表的和李政道1986年发表的回忆,在对当初1956年宇称不守恒思想的突破是什么这一点上是一致的;但是,在对宇称不守恒思想的突破是如何产生的回忆上却完全不同。两个说法在时间、地点和情况上都大不一样。当时,在1956年,这个思想突破,立刻就受到多位很重要的实验物理学家的注意,他们立刻做了实验和分析,而且把分析的结果写成论文发表了。之后,当时做实验的物理学家又发表了回忆文章。其中对事情发生的时间和经过均有细致、客观的记录。因此,很容易证明杨振宁和李政道两人说法中哪一个是假的。这种情形是相当惊人的,在科学史上可能也是少见的。

为便于鉴别,我们将重要的英文资料均翻译成中文,使这些客观事实的证明,都能汇集在这本中文的文集里,作为李杨叙述的背景文章,使读者们能够彻底了解四十七年前宇称不守恒思想的突破的产生真相和它在物理科学史上的重大意义,亦可以以此进一步了解李杨合分的真正经过,能够由事实的证明获得最后的真理。

我们十分感谢《科学时报》记者杨虚杰女士提出的尖锐问题。我们也非常感谢叶铭汉院士帮助审校本书汇集的英文历史资料的译文。

另外,在本书出版时,根据读者提出的问题,李政道教授对《答记者问》又做了一些补充。特此说明。

季承　柳怀祖　滕丽

2003年7月21日

序

2002年在杨振宁的直接推动下,在台湾出版了江才健写的《杨振宁传》,书中用大量篇幅叙述了我和杨振宁合作和分裂的事情,引起了学术界的很大震惊。

我和杨振宁的分裂,无疑是中华民族的一个很大的悲剧,但它是事实,无法回避。自从和杨振宁于1962年合作破裂后,我一直保持沉默。1982年杨振宁在他的英文文集里公开发表了他对这一问题的描述。他对此事的描述和我对事情实际经过的记忆相差太大。于是我不得不在1986年做了书面说明。在今年4月3日前,这是我惟一的一次对事实的公开说明。这一说明是用英文写的,获得了国际学术界的广泛认同。在这之后我继续保持沉默,祈望这件事就此了结,不再纠缠。可是杨振宁却把事情转向了中文读者,借用《杨振宁文集》(1998年出版)等一些中文出版物继续对我攻击。去年,在杨振宁直接推动下,终于又在台湾出版了江才健写的《杨振宁传》,编造了更多不真实的故事。因此,我不得不再一次打破沉默。

我和杨振宁争论的主要焦点是:在1956年我们合作发表,1957年获得诺贝尔奖的论文中,有关宇称不守恒的思想突破是谁首先提出来的。本来这个问题是无需争论的,可是杨振宁在1982年忽然用英文发表文章,宣称当初这个思想突破是他一个人提出来的,当时我还反对。1986年我在用英文发表的文章里指出杨振宁的说法与事实不合,之后,杨振宁就改用中文不断地继续发表和加强他1982年对我的攻击,完全不顾1956年的事实和经过。

事实是,1956年,是我首先独立地做出了这个思想突破。接

着，立刻就有多位实验物理学家按照我的想法进行了实验和分析，证明了我的想法是可行的，并发表了记载此事的科学论文。在这之后才有我和杨振宁合作写出《弱相互作用中的宇称守恒质疑》的论文和吴健雄等对该论文的实验证实。对于这项事实，当时进行实验予以证实的物理学家后来又发表了回忆文章，对事情发生的时间和经过做了细致、客观的描述。因此，很容易证明在我和杨振宁两人完全不同的说法中哪一个是假的。这种情形是相当惊人的，在科学史上可能也是很少见的。

我和杨振宁的分歧是中国学术界十分关心的事。现在事情又有了新发展，我觉得有必要让中国国内和海外华人学者及所有关心此事的炎黄子孙能进一步了解李杨合分的真实情况。因此，我才把就此事回答《科学时报》记者杨虚杰女士的全文及当年有关的英文资料的中文翻译，汇集出版，公布于众。

李政道
2003年7月
写于纽约

目　　录

李政道答《科学时报》记者杨虚杰问 ………………………… (1)
参考文献 ……………………………………………………… (65)

1.3 BeV π^- 介子产生的不稳定重粒子的性质
R. 布德，M. 克瑞廷，J. 雷特奈尔，N.P.塞缪斯，M.史瓦兹，J. 斯坦伯格 ……………………………………… (66)

弱相互作用中的宇称守恒质疑
李政道，杨振宁 ……………………………………………… (92)

宇称问题侧记
J. 伯恩斯坦 ………………………………………………… (105)

弱相互作用的历史
李政道 ……………………………………………………… (135)

高能中微子实验的诞生
曼温·史瓦兹 ………………………………………………… (149)

β衰变和宇称不守恒
吴健雄 ……………………………………………………… (150)

宇称不守恒的发现与未发现

A. 富兰克林 …………………………………………………… (152)

破缺的宇称
李政道 ………………………………………………………… (233)

超子衰变的早期宇称实验和50年代哥伦比亚大学的其他往事回忆
曼温·史瓦兹 ………………………………………………… (252)

往事回忆
李政道 ………………………………………………………… (257)

李政道答《科学时报》记者杨虚杰问

（2003 年 4 月 3 日）

李政道答《科学时报》记者杨虚杰问

(2003年4月3日)

(1)问:江才健写的《杨振宁传》去年在台湾出版,引起了很大反响。今年可能又将在大陆出版,您对此书的出版有什么评论?

(1)答:此书对我和杨振宁在物理研究上的合作,以及对我本人人格的很多描述都与事实不相符合。杨振宁是想通过此书重写历史,通过对我进行诬蔑和贬低来索取根本不属于他的荣誉。在一本传记中对别人进行如此集中的歪曲和诬蔑是非常罕见的。我读了之后感到十分震惊和愤怒。

(2)问:书中有关您和杨振宁的关系的记述,成了人们关注的焦点,甚至超过了书的其他内容。您认为其中原因何在?

(2)答:此书用了耸人听闻的煽动性的手法,篡改历史。杨振宁利用此书,制造不真实的故事,企图抹煞国际科学界早已公认的我对物理学发展的贡献。特别是,书中关于宇称不守恒思想的突破的叙述,更是采取了歪曲事实、制造谎言的手法来抬高杨振宁,贬低我本人。这样的行为在世界科学史上很可能是空前的;这样的传记写作手法在历史上也是极为少见的。因此,该书当然会引起人们的注意。其实,这都是杨振宁和传记作者共同谋划的。这一点传记作者在后记里也已经讲了。他们这样做是各有各的目的。

(3)问:李杨合分,症结所在,据一般人看来,是由于你们之间的下述争论:获诺贝尔奖的论文的思想,即弱作用中宇称不守恒

这一思想的突破，是你们二人中谁第一个提出来的。据杨振宁的说法，是他“在一个节骨眼上，我（指杨自己——李注）想到了……”。还说你先是反对这种观点，经过他的说服后才同意的。[1] 您认为这种说法符合事实吗？您能不能说明一下您知道的事实真相？

（3）**答**：杨振宁的说法与事实不符。事实是，宇称不守恒思想的突破是我在 1956 年 4 月上旬独立地做出的，与杨振宁无关。

当时的情况是这样的：

1954 年、1955 年，$\theta-\tau$ 之谜已成为物理学界关注的焦点。这里我想先简单地解释一下当时的 $\theta-\tau$ 之谜。50 年代初从宇宙线里观察到两种新的粒子，θ 和 τ。它们具有很不同的衰变模式。θ 衰变为两个 π 介子，τ 衰变为三个 π 介子。因为奇数个 π 介子的总宇称是负的，而偶数个 π 介子的总宇称是正的。所以从 θ 和 τ 的衰变模式可以决定 θ 的宇称是正的（称为标量），而 τ 的宇称是负的（称为赝标量）。奇怪的是到 1954 年、1955 年，经过很精密的实验测量，发现在实验的精确度内 θ 和 τ 这两个不同宇称的粒子居然有完全一样的寿命和质量。

那时候，从 θ、τ 的衰变模式，不仅可以决定它们二者的宇称不同，也已知道这类的衰变是通过弱作用力实现的，因而可用理论计算来估计它们的寿命。假使 τ 和 θ 是不同的粒子，τ 的寿命应该比 θ 的寿命长很多，约一百倍。可是实验结果是 τ 和 θ 的寿命几乎完全一样。而且，假使 τ 和 θ 是不同的粒子，为什么它们的质量也会几乎完全一样呢？如

---

① 杨振宁文集．华东师范大学出版社，1998.56

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 - 1980 With Commentary. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1983.26

果认为它们是同一个粒子,它们怎么会具有完全不一样的宇称呢?

为解决这一问题,物理学界曾提出过各种不同的想法,但都没有成功。50年代[②]时,粒子物理学领域,每年都举行一次国际性的综合学术会议,地点在美国纽约州的罗彻斯特(Rochester)大学。因而,这个很重要的会议就被称为罗彻斯特会议。凡是要参加会议的,必须收到邀请才行。在1956年4月3日~7日的罗彻斯特会议上,也讨论了θ-τ之谜这个问题。当时在会议上已经有人提出,包括我和杨振宁,是否在θ和τ的衰变中,宇称可能不守恒?但是,会议上的这些讨论都没有达到任何结论。要了解这是为什么,是什么原因造成了这种情况,我需要介绍一下当时宇称守恒问题的背景。

宇称守恒是当时公认的一个重要物理定律。宇称守恒的基础是"左右对称",而"左右对称"一向被认为是物理的公理。从经典物理学开始到近代物理学(包括力学、电磁学、引力场、弱作用理论、原子、分子和核子构造等),一切的物理理论,在1956年4月以前,都是左右对称的。因为每一门物理理论都有一大批、一大批的实验作证明,所以物理学家们想当然地认为"左右对称"在粒子物理学中也已经被充分证明了,是非常正确的,是自然界的真理。宇称守恒是天经地义的。

在1956年4月初的罗彻斯特会议上讨论时,所有的物理学家都公认,一切已了解的物理都是左右对称的,是宇称守恒的。这是毋需讨论的。在会议上讨论的问题是:在θ、τ衰变过程中,宇称是否可能不守恒;在当时一切已了解的物

② 20世纪50年代,下同。

理之外，θ、τ是否可作为一个特殊例外，是孤立的一点。

假使θ、τ是同一个粒子，在它衰变过程中，宇称并不守恒，那会产生什么结果呢？那结果就是，这同一个（即θ－τ）粒子既可以按宇称为正的θ模式衰变，也可以按宇称为负的τ模式衰变。可是这个结果与从一开始就已经知道的θ－τ之谜的现象完全相同。因此，虽然提出了θ－τ衰变宇称可能不守恒的假设，可是这种假设不产生任何新的物理结果。这种假设与一切其他物理无关。在这种假设提出以前，θ－τ之谜是孤立的一点；做了这种假设以后，θ－τ仍然还是孤立的一点。因为这种假设并不能产生任何新结论，所以这种假设就不能看做是宇称不守恒思想的突破。这一点物理学界是公认的。

当时我也正在重点研究这个问题，曾做过一些尝试，但未成功。我记得，在1956年4月3日～7日罗彻斯特会议结束后的一两天，即4月8日或9日，我在哥伦比亚大学的同事斯坦伯格（J. Steinberger），专程到我的办公室访问，讨教问题。那时他正在进行不稳定的重粒子的产生和衰变的实验。他的问题是如何测定这类重粒子的自旋，与θ－τ之谜无关，和宇称不守恒也无关。在谈话的过程中，我忽生灵感，突然很清楚地明了，要解决θ－τ之谜，必须先离开θ－τ系统，必须假定θ－τ以外的粒子也可能发生宇称不守恒的新现象。我发现，用斯坦伯格实验中重粒子产生和衰变的几个动量，便能很简单地去组织一个新的赝标量。用了这θ－τ以外的赝标量，就可以试验θ－τ以外的系统宇称是否不守恒。而这些赝标量，很显然的，没有被以前任何实验测量过。用了这些新的赝标量就可以系统地去研究宇称是否不守恒那个大问题。θ－τ之谜不再是一个孤立的点，它可以和斯坦伯格正在进行实验的重粒子连起来，它也可能和

其他一切物理整体地连起来。要解开 $\theta-\tau$ 之谜，就要去测量弱作用中 $\theta-\tau$ 以外的赝标量。我猜想，宇称不守恒很可能就是一个普遍性的基础科学原理。这就是宇称不守恒思想的突破。

当时，我就把这个想法告诉了斯坦伯格，并请他转告他的实验组的人，要他们赶快按照我的建议去重新分析实验数据。斯坦伯格听了也很兴奋。他说，您需要的这些原始实验数据，其实都已经有了，都记在他实验组的 Log book（实验工作记录本）里，可是因为不知道应该如何去分析，所以还没有将这些数据放在一起分析。之后，他和他的实验组马上按照我建议的方法去分析了他们的实验数据。虽然有迹象显示出宇称不守恒，但因数据不够，不能得出定论。1956 年 9 月份的《物理评论》上发表了他们重粒子实验的论文，也就是布德（R. Budde）、克瑞廷（M. Chretien）、雷特奈尔（J. Leitner）、塞缪斯（N. P. Samios）、史瓦兹（M. Schwartz）和斯坦伯格（J. Steinberger）合作的文章③。文章中有一部分就是讨论我的突破性的想法和他们的分析。他们并在文章里对我"非常有帮助的讨论"，即我提出的关于宇称不守恒的突破性的想法表示谢意。这就是宇称不守恒思想突破的来源④。对这件事，这项实验的参加者之一，史瓦兹后来曾发表了回忆文章。

史瓦兹（1988 年诺贝尔奖获得者）对上述情形有清楚的回忆。他对我当时提出的建议和宇称不守恒思想的突破

---

③ R. Budde, M. Chretien, J. Leitner, N. P. Samios, M. Schwartz, J. Steinberger. Properties of Heavy Unstable Particles Produced by 1.3 BeV π^- Mesons. Phys. Rev., 1956, 103(6): 1827 ~ 1836

④ 本文注③中之注 11

以及事情的经过，都有明确的回忆和文字的记载。其经过和时间都和我 1986 年发表的回忆完全一致。史瓦兹说：

“无论如何，我记得十分清楚，在罗彻斯特会议(4 月 3 日～7 日)之后，斯坦伯格立刻回到奈维斯(Nevis)实验室，告诉我们，当他在会后与李政道讨论二面角的分布时，李有一个非常重要的想法。李建议斯坦伯格，让我们把数据从 $\Phi=0$ 到 $\Phi=2\pi$ 进行划分。……如果有非对称性，那么就会是……宇称破坏的一个显而易见的例证”⑤。

这一切完全证明宇称不守恒思想的突破是首先由我在 1956 年 4 月上旬独立做出的，和杨振宁无关。

1956 年 4 月中旬，斯坦伯格和他的实验组已有了初步的分析结果。他告诉我，重粒子 Λ^0 的衰变，从 $\Phi=0$ 到 π 有 7 个事例，从 $\Phi=\pi$ 到 2π 却有 15 个事例，多了约一倍。重粒子 Σ^- 的衰变，从 $\Phi=0$ 到 π 有 13 个事例，从 $\Phi=\pi$ 到 2π 只有 3 个事例，小了约四倍。当然这些数据不够，还不能做出宇称不守恒的断定。斯坦伯格又说，他估计一年之内，他们可以用布鲁克海文实验室的加速器再去产生十倍多的事例。那就可以完成在 Λ^0、Σ^- 这类重粒子的衰变过程中，宇称是否守恒的决定性的实验(事实上，一年之后，1957 年斯坦伯格和他的合作者的确就完成了这个决定性的 Λ^0,Σ^- 宇称不守恒实验并发表在《物理评论》上)。

当时，我觉得很兴奋。这个初步的宇称不守恒的实验，已充分证明了我的宇称不守恒思想的突破是正确的，是可行的。宇称是否守恒的问题不再停留在 $\theta-\tau$ 之谜的孤立

---

⑤ M. Schwartz. Early Experiments in Hyperon Decay and Other Recollections of Columbia in the Fifties. R. Novick ed. Thirty Years Since Parirty Nonconservation. Boston: Birkhauser Inc., 1988.11～14

一点。$\theta-\tau$ 以外的不稳定重粒子 Λ^0 和 Σ^- 也都已经被包括进来了！

1956年4月中旬至4月底，我努力于完成宇称不守恒在 $\theta-\tau$、Λ^0、Σ^- 这类以及所有称为“奇异粒子”(Strange Particles)的弱作用衰变领域的理论分析和论文写作。我并和斯坦伯格约好，我的理论分析文章和他实验组当时的实验分析文章，即后来1956年9月15日发表的布德、史瓦兹、斯坦伯格等人的文章，同时发表。当然，弱作用衰变，除了奇异粒子外，还有更大的领域，那就是有五十多年研究历史的 β 衰变。这包括中子、π 介子、μ 子等更多的粒子。我准备在1956年5月初，写完奇异粒子宇称不守恒的论文后，立刻开始对它们进行分析。

1956年5月初，斯坦伯格又到哥伦比亚大学我的办公室，说他刚在布鲁克海文实验室的学术报告会上报告了他们的实验结果和分析，也报告了我关于宇称不守恒的建议。杨振宁也在场听报告。可是他却在听众中强烈反对我关于宇称不守恒的想法。在那段时期，我和杨振宁没有合作的工作。1956年4月初罗彻斯特会议结束后，我回到纽约，就没有再和杨振宁见过面。我听了斯坦伯格的话之后，就打了一个电话到布鲁克海文实验室，告诉杨振宁说，自从我和他在罗彻斯特会议分手后，我有一个理论上的突破，请他在和我讨论之前，不要再把他的反对意见公之于众。第二天上午，也就是杨振宁所说的4月底和5月初的一天，杨振宁来我办公室。谈了不久，杨振宁说他是开汽车来的，忘了纽约停车的困难，必须下去到街上移动他的汽车。

在哥伦比亚大学周围的所有街道，因清洁街道的原因，规定每天上午11时至下午14时，不准停车。因为杨振宁对纽约这些规则不熟，我就陪他离开校区，到北边125街。

那边清洁街道的规定是,每天上午 8 时至 11 时不准停车。在 125 街和百老汇大街交叉处有两家中国饭馆,是我常去的。因为那时候是早晨 11 时,饭店尚未开门。我们就在天津饭店隔壁的一家咖啡馆先喝杯咖啡。我把我最近的工作以及关于宇称不守恒突破性的想法和斯坦伯格依照我的建议所做的新实验结果,统统告诉了杨振宁。

杨振宁激烈反对。他说前两天刚听了斯坦伯格的报告,斯坦伯格测量的是“二面角”,对这方面,他(杨振宁)曾经研究过,绝对不会出任何宇称不守恒的新结果。在我们辩论时,隔壁的天津饭店开门了。

我是天津饭店的老顾客,就向服务员借了纸和笔。我写下方程式,画了图,再次向杨振宁全部重新解释。我向他指出,斯坦伯格新的分析中用的角度 Φ,不是杨振宁想象的二面角,而是我的思想突破所指的新赝标量。二面角是标量,只能从 0 到 π,当然是宇称守恒的。这新的 Φ 角度是赝标量,可以从 0 到 π,然后也可以从 π 到 2π。当 Φ 在 0 到 π 的区域时,Φ 和二面角一样,可是在 π 到 2π 的区域就完全不一样。用了这样新的赝标量 Φ,通过 Λ^0 和 Σ^- 的衰变过程,如果这两个 Φ 区域的事例数不同,那就是明确的宇称不守恒的证明,据此就可以去测量 $\theta-\tau$ 以外的粒子是否也是宇称不守恒。这是以前别人没有想到的。这就是我的宇称不守恒思想的突破。

斯坦伯格实验组依照我的建议,对 Λ^0 和 Σ^- 衰变中,Φ 在 0 到 π 和 π 到 2π 两个范围的事例的数量进行了分析。这个分析在 4 月份已经完成了。结果这两个数量相当不同,已经可以看出宇称不守恒的迹象。可惜,整个实验的事例数目不够,暂时还不能下定论,不过已经可以证明我的思想突破是可行的了。然后,我又重复在纸上写下,刚才在咖

啡馆口述的斯坦伯格实验组的初步分析细节。杨振宁慢慢地不再反对了。

午饭后,我们回到哥伦比亚大学我的办公室时,杨振宁已被完全说服了。他也很兴奋。在我的办公桌上,他看见我正在写的关于在 $\theta-\tau$、Λ^0、Σ^- 和其他奇异粒子的衰变中,宇称可能不守恒的文章。我告诉他,这篇文章将与斯坦伯格的实验文章同时发表。我也告诉他我正开始预备将这种分析应用推广到 β 衰变的领域。

杨振宁说他很愿意和我合作。同时,他劝我不要先发表我已差不多写完的奇异粒子宇称不守恒的文章。他说,这是非常热门的突破,应该用最快的速度,将整个弱作用领域一下子都占领下来,这样可以更加完整。

杨振宁具有高度批评性的眼光,他是一位优秀的物理学家,也是我的好朋友。宇称不守恒将涉及物理学的各个领域。我认为杨的参加无疑会使最后的成果更加丰硕。因此我接受了他的合作要求,并表示了欢迎。

我的决定是对的,我们这个合作是非常成功的。在1956年以前,从经典物理到近代物理,都是对称的物理。1956年以后,大部分的物理现象都发现有不对称。不仅是宇称不守恒和左右不对称,电荷的正负也不对称,时间反演也不对称,真空也不对称,因而夸克可被禁闭,不同的中微子间可以互相转换变化,连质子也可能不稳定……。当然,并不是1956年忽然改变了外界的宇宙,而是1956年我和杨振宁发表的宇称不守恒的文章,改变了整个物理学界以前在"对称"观念上的一切传统的、根深的、错误的、盲目的陈旧见解!

1956年我们关于宇称不守恒的文章带来了1957年的诺贝尔奖。对我来讲,更大的意义,是我有这机会在人类的

思想发展史上,做出宇称不守恒这一基础性的、革命性的贡献。这使我深深感觉到自己的幸运和能够做出突破性贡献的人生的巨大意义。

证明弱作用宇称不守恒的决定性的实验是吴健雄和她的合作者们在 1957 年 1 月完成的。关于我是如何做出宇称不守恒思想这一突破的,以及他们那项决定性实验是如何由我起的头,吴健雄也有她很清楚的回忆文章[⑥],发表在 1972 年:

"……1956 年早春的一天,李政道教授来到普平物理实验室第十三层楼我的办公室。他先向我解释了 $\tau-\theta$ 之谜。他继续说,如果 $\tau-\theta$ 之谜的答案是宇称不守恒,那么这种破坏在极化核的 β 衰变的空间分布中也应该观察到:我们必须去测量赝标量 $<\sigma\cdot p>$,这里 p 是电子的动量,σ 是核的自旋。

"……在李教授的访问之后,我把事情从头到尾想了一遍。对于一个从事 β 衰变物理的学者来说,去做这种至关重要的实验,真是一个宝贵的机会,我怎么能放弃这个机会呢? ……那年春天,我的丈夫袁家骝和我打算去日内瓦参加一个会议,然后到远东去。我们两个都是在 1936 年离开中国的,正好是在二十年前。我们已经预订了'伊丽莎白王后'号的船票。但我突然意识到,我必须立刻去做这个实验,在物理学界的其他人意识到这个实验的重要性之前首先去做。于是我请求家骝让我留下,由他一个人去。……5 月底,春季学期结束之后,我于是认真地开始准备这个实验。……

⑥ Chien-Shiung Wu. Beta Decay and Parity Nonconservation. B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1972. 101

"……在1月15日的下午,哥伦比亚大学物理系召开了一个新闻发布会,宣布物理学一个基本定律出人意料地被推翻了。……这一新闻在公众中爆开,迅速传遍全世界。正如剑桥大学O.R.弗瑞奇教授(O.R.Frisch)在那时的一次讲话中描述的那样:'宇称是不守恒的'这一难懂的语句,像一个新的福音传遍了全世界。"

下面是杨振宁1982年写的关于1956年宇称不守恒的回忆⑦:

"普林斯顿高等研究院(Institute for Advanced Study, Princeton)的春季学期于4月初结束,我和家人于1956年4月17日到布鲁克海文去度暑假。李政道和我继续保持每周两次的互访。这段时间里,我们是在哥伦比亚和布鲁克海文见面。同过去一样,我们对各种问题都感兴趣,但当时我们最关注的自然是$\theta-\tau$之谜。我们对下述反应链中的角分布尤其有兴趣:

$$\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \theta^0 \quad (1)$$

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p \quad (2)$$

R.P.Shutt(舒特)、斯坦伯格和W.D.Walker(瓦尔克)等人研究过这些反应。他们曾在罗彻斯特会议上报告过研究的结果,会上对这三组物理学家所使用的'二面角'变量的准确范围有争议。

"4月底或5月初的一天,我驱车前往哥伦比亚作每周例行的拜访。我把李政道从他的办公室接出来,上了车。我们很难找到泊车的空位。后来,我把车泊在百老汇大街

⑦ 杨振宁文集.华东师范大学出版社.1998.55

Chen Ning Yang.Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary.San Francisco: W.H. Freeman and Company,1983.26

和125街的转角处。那是午饭时分，但附近的饭馆尚未开门营业。于是我们就到附近的白玫瑰咖啡馆，在那里继续讨论。稍后，我们在上海餐馆(据我回忆，是这间餐馆，但李政道说他记得是天津餐馆)吃午饭。我们的讨论集中在 $\theta-\tau$ 之谜上面。在一个节骨眼上，我想到了，应该把产生过程的对称性同衰变过程分离开来。于是，如果人们假设宇称只在强作用中守恒，在弱作用中则不然，那么，θ 和 τ 是同一粒子且自旋、宇称为 0^-（这一点是由强作用推断出的)的结论就不会遇到困难。这种分离对反应链(1)、(2)有特别的意义。李政道先是反对这种观点。我力图说服他，因为这种想法可以通过(1)、(2)两个反应中可能存在的上—下不对称性而加以检验，它就更有吸引力了。后来，他同意了我的意见。

"……，那时，李政道还不大熟悉 β 衰变现象。他有点按捺不住了，主张把关于反应(1)、(2)的研究写成短文，先行发表。我不同意这样做，因为我要把 β 衰变的计算做完。"

杨振宁回忆中的反应链(1)和(2)就是那时候斯坦伯格实验组正在研究的。杨振宁对什么是宇称不守恒思想的突破，和我的回忆是同一个思想，也正是前面史瓦兹1986年发表的回忆文章里所叙述的我的那个想法，也就是史瓦兹说的，在1956年4月上旬"李建议斯坦伯格，让我们把数据从 $\Phi=0$ 到 $\Phi=2\pi$ 进行划分"的分析。所以，杨振宁1982年发表的回忆和我1986年发表的回忆，在对当初1956年宇称不守恒思想的突破是什么这一点上是一致的。可是，杨振宁和我对宇称不守恒思想突破是如何产生的回忆却完全不同。两个说法在时间上相差了约三个星期，地点和情况也完全不一样。

宇称不守恒的思想突破是完全集中在 Λ^0 和 Σ^- 重粒子的反应过程上。这个思想的可行性必须对 Λ^0 和 Σ^- 的产生和衰变进行分析才可以决定。任何一位理论物理学家,如果忽然有了这样一个重要的思想突破,一定会立即去找做 Λ^0 和 Σ^- 实验的小组,去说服他们,请他们赶快按照这个思想突破的建议去重新分析他们的数据。可是杨振宁 1982 年的回忆文章,和他以后的传记,完全没有任何这样的回忆和叙述。可见杨振宁的上述回忆是不合常理的。为什么?因为 1956 年 5 月初,杨振宁来纽约看我的时候,他明明知道斯坦伯格实验组已经按照我的宇称不守恒的思想突破,做过了分析。所以杨振宁的回忆中是不能提这个实验分析的。

斯坦伯格(1988 年诺贝尔奖获得者)和我及杨振宁都是 40 年代在芝加哥大学的同学,都很熟。1956 年斯坦伯格和我都是哥伦比亚大学物理系的正教授。我们的办公室离得很近,仅差上下一层楼。当时,整个物理学界绝大部分的 Λ^0 和 Σ^- 事例都在斯坦伯格实验组手中,有约四十个,不是个小数目。这些情况在 1956 年 4 月初罗彻斯特会议时,杨振宁都是知道的。1956 年我、斯坦伯格和杨振宁都是被邀请参加罗彻斯特会议的。假使真的如杨振宁所说,在 1956 年 5 月初,他午饭时忽然在一个节骨眼上想到了 Λ^0 的产生和衰变反应链,他有如此重要的宇称不守恒的思想突破,不可能在午饭后我们回到哥伦比亚大学,他不去找离我办公室很近的,也是他很熟的朋友斯坦伯格。他不可能不想立刻就把他的这个重要的、Λ^0 和 Σ^- 衰变可能是宇称不守恒的想法告诉斯坦伯格。同时,他也不可能不急着去请斯坦伯格尽快地做一个实验,看看他的这个思想突破是否可行。

杨振宁不去找斯坦伯格,是为什么呢?因为杨振宁完

全清楚，在那个时候，斯坦伯格不仅早就知道我的思想突破，也早已按照我的这个思想，去做了分析。同时，杨振宁也知道前两天他刚刚听了斯坦伯格的报告，而且他还反对。当杨振宁 1956 年 5 月初在天津饭店吃午饭时，他完全清楚斯坦伯格实验组的分析结果已有宇称不守恒的迹象，虽然不能定论，但是完全可以证明我的思想突破是可行的。在 1956 年 4 月罗彻斯特会议后的三个星期中，已经发生的这些极重要的事实，在杨振宁的回忆里，其叙述却完全是一片空白。为什么？因为杨振宁 1982 年的回忆中，关于宇称不守恒思想突破的叙述是假的。他知道，他是要将我的思想突破变成他的，将他的反对变成我的反对。

在杨振宁 1982 年的回忆里还有其他相当多的情节也不符合事实。举两个例子吧。1956 年 5 月初，当他在我办公室里看见了我正在写的，关于 $\theta-\tau$、Λ^0、Σ^- 等奇异粒子宇称不守恒的文章的时候，是他要求参加进来和我一起做 β 衰变领域的分析。也是他要求我先不发表奇异粒子的文章的。可是他在 1982 年的回忆中竟然说："他（指李）有点按捺不住，主张把关于反应(1)、(2)的研究写成短文，先行发表，我不同意这样做。"⑧⑨ 杨振宁关于我"按捺不住"的说法和事实不合，完全是喧宾夺主，是很不道德的。

在我们合作写出宇称不守恒的论文之前，在 1948 年～1956 年的八年中，我和杨振宁仅合作了六篇文章，是我在同一时期发表的论文中的一小部分。1956 年我们发表了关于宇称不守恒的论文之后，我和杨振宁才开始密切合作。

---

⑧ 杨振宁文集．华东师范大学出版社．1998．57

⑨ Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary, San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1983. 28

从1956年的下半年到1962年的六年中，我们共合写了二十六篇文章。

1956年4月，我和杨振宁没有任何合作项目，也没有杨振宁1982年回忆中所谓的每周两次的见面。当他1956年5月初来我办公室时，他已经有一段时间没有来哥伦比亚大学。否则，他不会在上午11时左右开汽车来，因为他不可能忘了在午时左右哥校附近停车的困难。1956年4月3日～7日罗彻斯特会议后的整个4月份我和杨振宁没有见过面。事实上杨振宁1982年回忆中所谓的每周两次的见面是在1956年10月我们发表了宇称不守恒的论文之后才开始的。杨振宁1982年回忆中所说的在1956年4月和李政道每周两次互访也是与事实不合的。

由于我的思想突破促成了当时（1956年4月份）布德、克瑞廷、雷特奈尔、塞缪斯、史瓦兹和斯坦伯格在他们的实验文章中做了宇称不守恒的分析。因此，他们在他们的论文中对我表示感谢。他们没有提杨振宁，因为这与杨振宁无关。

上面已经提到，这项实验的参加者之一史瓦兹，在他1986年的回忆中关于1956年4月宇称不守恒的思想突破，讲得很清楚，这个思想是我提出来的，根本没有提到杨振宁[10]，因为这是与杨振宁无关的。

由此可见，这一切完全证明宇称不守恒思想的突破是首先由我独立做出的，和杨振宁无关。

1956年4月初我做出了宇称不守恒思想的突破以后，

[10] M. Schwartz. Early Experiments in Hyperon Decay and Other Recollections of Columbia in the Fifties. R. Novick ed. Thirty Years Since Parity Nonconservation. Boston: Birkhauser Inc., 1988. 11～14

到5月份杨振宁才参加进来和我一起对宇称不守恒做了系统性的理论分析工作,一起写出了获诺贝尔奖的那篇论文。上面的叙述并没有减少杨振宁在与我合作中的贡献,也没有否定他应获诺贝尔奖的资格,当然也没有降低他因此而获得的荣誉。

虽然我们是一起获得了诺贝尔奖,但是关于宇称不守恒思想的突破是由我独立做出的这一点,是有文献记载的,同行们也都是知道的,是客观的事实。可是我从来没有去强调这一点。也从来没有因此去损伤杨振宁,去贬低他在与我合作完成宇称不守恒论文上的贡献。但问题的关键是,杨振宁从1982年至今,总是想抹煞是我首先独立地做出了宇称不守恒这一突破的事实。他关于这一问题的叙述,没有任何事实依据,完全不符合历史事实。

(4)**问**:您举出布德、克瑞廷、雷特奈尔、塞缪斯、史瓦兹和斯坦伯格等人的实验论文,作为您首先提出宇称不守恒思想的证据。但是,杨却反问您说,为什么1956年你们得诺贝尔奖的论文里一字未提史瓦兹?为什么您1970年《弱相互作用的历史》里也一字未提?

(4)**答**:在江才健的《杨振宁传》里,杨振宁问吴大猷老师:“政道今日说 Budde et al.1956年(Schwartz 是主要合作者)的一文才是 Parity idea 的起始,是他(李)介绍给 Schwartz 的(这是他六十生日会上他所打出的一张王牌)。如果此说能成立,为什么1956年我们的 Parity 文一字未提 Schwartz?为什么1957年我的与李的 Nobel Speeches 都一字未提 Schwartz?为什么李的1970年 History of Weak Interactions 仍一字未提

Schwartz?"⑪

杨振宁用这些问题反问吴老师是极不妥当、极不礼貌的。当然,吴老师不会回答,因为吴老师与此事无关,而且现在吴老师已经过世,我们无法知道他的反应;即使他在世,也不应该把裁判的责任强加给他。我想,杨振宁的这些问题还是由我来答复为好。

杨振宁所说布德等(Budde et al.)发表在《物理评论》上的上述论文,就是上面说到的布德、克瑞廷、雷特奈尔、塞缪斯、史瓦兹和斯坦伯格等合作的论文。虽然他们的论文里也发表了那些数据,但因为数据量不够,不能对宇称不守恒下最终结论。在1956年5月至10月间,还有不同的人分别做了其他好几个实验,由于各种因素也不能给出定论。所以我和杨振宁1956年10月1日的文章,按科学文献的写作惯例,都一概不提那些文章。同样,在1957年我和杨振宁获诺贝尔奖的演讲(Nobel Lectures)中,也只提到了吴健雄等成功的实验。这是很自然的事。这怎么能成为否定是我做出宇称不守恒思想突破的证据呢?退一步说,不提布德等的论文,难道就能说明完全没有我向斯坦伯格提出建议的这回事吗?不提他们的论文就能否定他们论文的存在吗?就能否定他们在论文中用我突破性的宇称不守恒的思想进行的分析吗?不提他们的论文,就能证明,宇称不守恒思想的突破不是由我首先提出来的吗?如果谈到感谢,那显然不是我要去感谢史瓦兹,而是相反。事实上史瓦兹等早在他们(也就是布德等)当时发表的论文里就已经表示过对我的感谢了,这足以证明他们承认并接受了我提出的

---

⑪ 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.507

宇称不守恒的思想。杨振宁提这样的问题,是本末倒置,目的纯粹是要制造一个错觉。

至于杨振宁说,为什么我 1971 年《弱相互作用的历史》⑫一文没有提布德等的论文,这更是莫名其妙。1971 年《弱相互作用的历史》仅是我在意大利恩瑞奇暑期学校一小时演讲的讲稿,谈的是 1930 年~1970 年四十年间弱作用研究的发展大纲。1956 年宇称不守恒工作仅是其中一部分。当时我只有时间很简单地谈到我和杨振宁对宇称不守恒合作进行系统理论分析的部分经过,没有必要专门去强调是我做出了宇称不守恒这一思想突破。因此,更没有必要专门去提史瓦兹等人的实验。按照杨振宁的逻辑,无论什么时候,只要我做报告或写文章就要讲是我首先提出宇称不守恒思想的,否则就等于承认没有这回事,这不是太可笑了吗?

1982 年,杨振宁在他的论文选里居然以我 1970 年的《弱相互作用的历史》讲稿为借口,无理地攻击我,说我在该文中乱说,而 2002 年杨振宁忽然又反过来问:为什么我和他在我们的获奖论文和我 1970 年的演讲中不提史瓦兹?似乎不提史瓦兹就是承认这个突破不是我独立做出的。似乎不提史瓦兹就等于没有布德等 1956 年 9 月已发表的物理论文,就等于没有他们在我的突破思想指导下做的分析,就等于没有他们为此而对我表示的感谢。这种逻辑是不通的! 事实上,在和我的关系上,这些都是杨振宁不顾事实,

⑫ T. D. Lee. History of Weak Interactions. Elementary Process at High Energy. New York: Academic Press Inc., 1971

T. D. Lee. History of Weak Interactions. T. D. Lee Selected Papers, volume 3. Boston: Birknauser Inc., 1986. 475 ~ 509

故弄玄虚，扰乱人心的一贯做法。

任何写作过科学论文的人都会明了，凡已经经过文献或实验证明的科学贡献，在一般场合下均无需再在论文里专门去提。因为提和不提并不影响已存在的、已证明的这一事实。从 1982 年以来，杨振宁就不断地以自夸和造伪的方法企图抢夺我的贡献。现在他居然用他自己已经习惯了的，认为多说谎话就能否定已有事实的办法，去否定别人在报告或论文里符合科学论文惯例的正常说法。这是非常可笑的。

(5)**问**：杨振宁在给吴大猷的信里说，关于宇称不守恒的论文是他起的头，因为你们 1956 年的论文的观念的起源、背景是他和蒂欧姆诺(Tiomno)的文章(1950)、他的 Ph.D.论文(1948)和他、Snow(斯诺)、Sternheimer(斯顿海默)的文章(1954)。尤其是他和蒂欧姆诺的文章(1950)引进了 C 和 C′十个耦合常数。杨又说：当 1956 年大家(即所有的物理学家)都在讨论 $\theta-\tau$ 之谜时，只有他(即杨)集此诸背景于一身，所以有了宇称不守恒的观念。[13]

你觉得杨的说法有根据吗?

(5)**答**：毫无根据。杨振宁 1948 年的博士论文，1950 年杨振宁和蒂欧姆诺的文章，及 1954 年杨振宁和斯诺及斯顿海默的文章都是宇称守恒的，都还是在宇称守恒的框架里做文章。

在 1956 年我和杨振宁写那篇历史性的宇称不守恒的文章以前，所有的文献上都是宇称守恒，包括杨振宁的论文和他 1950 及 1954 年的文章也都是宇称守恒。

1950 年杨振宁和蒂欧姆诺的文章重点是 C 和 C′这两

---

[13] 江才健. 杨振宁传. 台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002. 506～507

种耦合常数不能同时用,而我和杨振宁 1956 年宇称不守恒的文章就是 C 和 C′同时用,既有 C 又有 C′,与杨振宁和蒂欧姆诺 1950 年的文章结论完全相反。所以,很明显:这是因为 1956 年我和杨振宁的文章是宇称不守恒,而杨振宁和蒂欧姆诺 1950 年的文章是宇称守恒。

杨振宁之所以拿这篇文章来做说辞,是想用一种似是而非,鱼目混珠的说法来欺骗一般人,也想欺骗不在粒子物理领域工作的科学家。这是他一贯的做法。我相信,吴老师是不会受他欺骗的。他所以要等吴老师过世后才发表他的这封完全不科学的单方面的私人信件,恐怕这就是原因所在。

1956 年前所有的物理实验和理论分析都是建立在宇称守恒的基础上。宇称守恒是天经地义的。在 1956 年 4 月 3 日 ~ 7 日的罗彻斯特会议上,虽然是第一次进行公开的讨论,探讨能否用宇称不守恒去解决 $\theta-\tau$ 之谜,但是仍然没有任何结论和进展。那时候的物理学(电磁场、相对论、量子力学等等)都被禁闭在“宇称守恒”这个似乎是天经地义的定理的堡垒内;堡垒外没有任何物理。因此,虽然当时也有人(包括我和杨振宁)提出了宇称可能不守恒这个想法,但还是解不开 $\theta-\tau$ 之谜,还是走不出宇称守恒这个堡垒。

这就是宇称不守恒突破的困难之所在。要解 $\theta-\tau$ 之谜,第一步就是要丢掉所有过去宇称守恒的包袱。杨振宁给吴老师信上所谓的“背景”文章,都是累赘,都完全仍然是在“宇称守恒”这个堡垒里边。杨振宁把所有这些包袱集于一身,这样做下去是一辈子也走不出“宇称守恒”的堡垒的。这也就是为什么 1956 年 5 月初斯坦伯格告诉我,他刚刚在布鲁克海文第一次报告了他的实验,并讲了我在 1956 年 4

月上旬做的关于宇称不守恒的思想突破，杨振宁在场听了后，公开激烈反对的原因。

事实上，杨振宁在那时候是不认为宇称可能会不守恒，他也不相信 θ 和 τ 会是同一个粒子，在江才健著的《杨振宁传》里有这样一个记载："在 1956 年 4 月，杨振宁和派斯以及惠勒三人从罗彻斯特坐火车回普林斯顿的路上，杨振宁和派斯还各和惠勒赌一块钱，认为 θ 和 τ 不是同一个粒子。结果后来证实 θ 和 τ 是同一个粒子，也让惠勒赢了两块钱。"⑭

事隔近半世纪，今日杨振宁还要拿出他 1989 年给吴大猷老师单方面的私人信件，还要自夸，说在全世界的物理学家中，"只有我（指杨——李注）集此诸背景（宇称守恒的大累赘——李注）于一身，所以才有了弱相互作用中宇称不守恒的观念。"⑮ 这真是一个天大的笑话。

(6)**问**：关于你们获诺贝尔奖论文的写作，杨振宁在他的文集里说：1956 年"5 月底，我有生以来第一次得了严重的腰痛病（几年以后，诊断为椎间盘脱出症）。……在病榻上，我（指杨）口授，由妻子致礼写成了一篇论文。因为她未受过文秘方面的训练，所以只好一字一句地照记下来。论文的题目是：《在弱作用中，宇称是否守恒？》我把稿子拿给李政道看，他作了几处小改。"⑯ 杨振宁又说，关于"这篇论文是怎样写成

---

⑭ 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.256～257

⑮ 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.507

⑯ 杨振宁文集.华东师范大学出版社，1998.59

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983.29

的？李政道对此一概回避，顾左右而言他。我知道，有朝一日我必须把真相公诸于世。”[17] 能否请您讲一下，您对该论文写作的回忆是什么？

(6)**答**：杨振宁的叙述，完全不符合事实。事实的经过是：

1956 年 4 月上旬我把我宇称不守恒思想的突破告诉了斯坦伯格后，就致力于奇异粒子的弱作用领域宇称可能不守恒的理论分析和论文写作，整个 1956 年 4 月份的工作和杨振宁无关。

前面已经提到过，当 1956 年 5 月初杨振宁专程从布鲁克海文实验室来纽约拜访我的时候，他在哥伦比亚大学我办公室的桌子上已经看到了我一人正在写的《奇异粒子弱作用中宇称守恒质疑》的文稿。我后来正是把这篇文稿，作为我们的论文的后半部，于 1956 年 10 月发表在《物理评论》上并获得了诺贝尔奖的。

和杨振宁的说法相反，宇称守恒质疑的思想突破是我独立做出的，弱作用中宇称守恒质疑的整体工作是我创议和主持的，《弱相互作用中的宇称守恒质疑》的文章也是由我主笔的。

1956 年 5 月初，我接受了杨振宁的要求，同意他和我合作进行 β 衰变宇称是否守恒的分析工作。之后，杨振宁为了能和我讨论，他每周单独由布鲁克海文实验室来纽约拜访我。1956 年 5 月底，当我根据 4 月份我一人的工作，以及 5 月份我与杨振宁二人合作的结果，写完这整篇《弱相互作用中宇称守恒质疑》论文后，接到杨振宁的电话，说他因为

---

[17] 杨振宁文集．华东师范大学出版社，1998．62

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1983. 30

忽然腰痛,下一次他不能如期来纽约拜访我。电话中我告诉他,我已根据我们的讨论,不仅写完了全篇论文,而且哥伦比亚大学物理系理论物理组的行政助理 Irene Tramm 女士连我手写的全部论文都已经打字出来了。论文的题目是《弱相互作用中的宇称守恒质疑》,论文的上半部主要是讨论β衰变领域的宇称守恒质疑;下半部,则如上述,主要是关于奇异粒子领域的宇称守恒质疑。既然他腰痛不能来纽约,我就将已打好的文章全部寄给杨振宁。过了几天,杨振宁又来电话,说他已收到我寄给他的文章,他已全部念了,觉得写得很好。他惟一的提议是论文题目能否改为《在弱作用中,宇称是否守恒?》。因为一般物理论文标题上都不用问号,杨振宁说,假使我们用问号,可以更引人注目。杨振宁又说,因为这个修改是很简单的,他可以安排,而且《物理评论》的办公室就在布鲁克海文实验室的物理部,和他是比邻,因此我就不必再费心了,他改了论文的题目后,就会直接交给《物理评论》。我在电话中同意了他的建议(后来《物理评论》的编辑不同意在论文题目上用问号,所以又改回我本来写的论文题目)。

这样一件简单的事情,一件根本不需要讨论的事情,几十年后,杨振宁还是要制造假话。这无非是想说事情都是他做的,思想是他的,论文也是他写的。但是,事实却不能因假话而改变。请大家设想一下,我们这篇论文于1956年10月发表,获得了诺贝尔奖。这篇论文是划时代的,是纯粹科学性的文章,文中有好多个像下面这样的数学方程式:⑱

---

⑱ T. D. Lee, C. N. Yang. Question of Parity Conservation in Weak Interactions. Phys. Rev., 1956, 104(1): 254 ~ 258

$$
\begin{aligned}
H_{int} = & (\psi_p^{\dagger}\gamma_4\psi_n)(C_S\psi_e^{\dagger}\gamma_4\psi_\upsilon + C_S'\psi_e^{\dagger}\gamma_4\gamma_5\psi_\upsilon) \\
& + (\psi_p^{\dagger}\gamma_4\gamma_\mu\psi_n)(C_V\psi_e^{\dagger}\gamma_4\gamma_\mu\psi_\nu + C_V'\psi_e^{\dagger}\gamma_4\gamma_\mu\gamma_5\psi_\upsilon) \\
& + \frac{1}{2}(\psi_p^{\dagger}\gamma_4\sigma_{\lambda\mu}\psi_n)(C_T\psi_e^{\dagger}\gamma_4\sigma_{\lambda\mu}\psi_\upsilon \\
& + C_T'\psi_e^{\dagger}\gamma_4\sigma_{\lambda\mu}\gamma_5\psi_\upsilon) + (\psi_p^{\dagger}\gamma_4\gamma_\mu\gamma_5\psi_n) \\
& \times(-C_A\psi_e^{\dagger}\gamma_4\gamma_\mu\gamma_5\psi_\upsilon - C_A'\psi_e^{\dagger}\gamma_4\gamma_\mu\psi_\upsilon) \\
& + (\psi_p^{\dagger}\gamma_4\gamma_5\psi_n)(C_P\psi_e^{\dagger}\gamma_4\gamma_5\psi_\upsilon + C_P'\psi_e^{\dagger}\gamma_4\psi_\upsilon) \qquad (A.1)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
N(W,\theta)\,dW sin\theta d\theta = & \frac{\xi}{4\pi^3}F(Z,W)pW(W_0-W)^2 \\
& \times\left(1+\frac{ap}{W}cos\theta+\frac{b}{W}\right)dW sin\theta d\theta \qquad (A.2)
\end{aligned}
$$

其中:

$$
\begin{aligned}
\xi = & (|C_S|^2+|C_V|^2+|C_S'|^2+|C_V'|^2)|M_{F.}|^2 \\
& +(|C_T|^2+|C_A|^2+|C_T'|^2+|C_A'|^2)|M_{G.T.}|^2 \qquad (A.3)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\alpha\xi = & \frac{1}{3}(|C_T|^2-|C_A|^2+|C_T'|^2-|C_A'|^2)|M_{G.T.}|^2 \\
& -(|C_S|^2-|C_V|^2+|C_S'|^2-|C_V'|^2)|M_{F.}|^2 \qquad (A.4)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
b\xi = & \gamma[(C_S^*C_V+C_SC_V^*)+(C_S'^*C_V'+C_S'C_V'^*)]|M_{F.}|^2 \\
& +\gamma[(C_T^*C_A+C_A^*C_T)+(C'^*_TC_A'+C_A'^*C_T')]\times|M_{G.T.}|^2 \qquad (A.5)
\end{aligned}
$$

$$\alpha=\beta<J_Z>/J$$

$$
\begin{aligned}
\beta = & Re[C_TC_T'^* - C_AC_A'^* + i\frac{Ze^2}{\hbar cp}(C_AC_T'^* + C_A'C_T^*)] \\
& \times|M_{G.T.}|^2\frac{\upsilon_e}{c}\frac{2}{\xi+(\xi b/W)} \qquad (A.6)
\end{aligned}
$$

一位没有科学训练,没有文秘经历的人,怎么能够靠别人口述写出这样一长篇高度专业性的论文呢? 可是杨振宁硬说:“5月底……在病榻上,我口授,由妻子致礼写成了一

篇论文。因为她未受过文秘方面的训练，所以只好一字一句地照记下来。"[19] 这篇理论物理论文，居然在他的"全部口授"下就能很快地一字一句地写完了。这实在太神奇了。这能让人相信吗？而杨振宁接着又说："6月5日，我带着致礼和我们的长子弗兰克林（光诺）驱车到麻省的剑桥。……"这就是说，几天后，他就开车出去旅行了。[20]

杨振宁对1956年在《物理评论》上发表的，以《弱作用中的宇称守恒质疑》为题的论文是如何写成的叙述，与事实不合。只要拿当年我们发表的论文的实质和他后来编造的故事，一相对照，杨振宁的谎言是透明的。

当时，我没有想到他会如此不负责任，没有将论文交给《物理评论》，也没有通知我，就一人突然开了汽车，带了他的家人离开了布鲁克海文实验室出去旅行了。我打电话找他，也找不到。等到发现这些情况之后，催促他赶快将Irene女士早就打好的论文送入《物理评论》，那已经是三个星期后，1956年6月22日的事了。

(7)问：杨说，1948年底罗森布鲁斯（Rosenbluth）和他合作写关于Meson Interaction（介子相互作用）的文章，那时候您还没有写过任何一篇文章，只不过因为您时常来他的办公室，所以才把您的名字加了上去。杨说，您认为这篇文章是你们三

---

[19] 杨振宁文集.华东师范大学出版社,1998.59

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983.29

[20] 杨振宁文集.华东师范大学出版社,1998.59

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983.29

人平等合作写的。[21][22]究竟是谁说得对?

(7)**答**:杨振宁的说法,不符合事实,充满了谎话。这又是他不道德的欺人之谈。

大家知道,在物理研究领域里,和其他研究领域一样,每位合作者对合作发表的文章在学术上一定都要有贡献,都负有同等的责任,都有同等的权利。不是任何一位合作者能任意把没有参加工作的人加进来的。也不是事后其中任何一位署名者,出于己欲,可以吞没其他署名者的贡献的。

杨振宁毫无事实根据,半世纪后,忽然要硬性地抢夺我在这项工作中的贡献,这是极为可笑的,也是科学界决不会接受和相信的。

《介子相互作用》是我做芝加哥大学理论物理研究生时,在我的老师费米教授指导下写的第一篇论文。这篇论文的内容要点是"μ介子的分析"和"费米弱作用的普适性"的讨论,1949 年初在《物理评论》上发表。工作主要是在 1948 年做的,文章是我、罗森布鲁斯和杨振宁三人一起署名的。

顺便讲一下这篇文章的背景。1947 年费米教授发表了两篇极重要的,关于宇宙线介子(mesotron)的理论分析文章:

《负介子在物质中的衰变》(1947)

[The Decay of Negative Mesotron in Matter(1947)]

---

[21] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.201

[22] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.506

《负介子在物质中的俘获》(1947)

[The Capture of Negative Mesotron in Matter(1947)]

证明了当时知道的宇宙线介子,即现在的μ子,当时叫μ介子,没有强作用(希腊字母的μ是现在英文的m,而m就指 mesotron)。1947年~1948年费米教授的另一研究生斯坦伯格的论文的内容是测量μ介子衰变成电子的能量谱的实验,而我则和斯坦伯格平行地做μ介子衰变和俘获的理论分析。

罗森布鲁斯不是费米教授的研究生,但和我合用一间办公室,他随泰勒(E.Teller)教授作质子的理论研究。每次当斯坦伯格到我的办公室和我讨论他的μ介子实验时,罗森布鲁斯自然也在旁边。日子一久他也对这项工作产生了兴趣,和我一起讨论并愿意参加我正在做的μ介子理论分析。

杨振宁也不是费米教授的研究生。1947年~1948年他大部分时间是在艾立逊的高能加速器实验室做实验。艾立逊实验室是在另一个地方。不过因为我和杨振宁在周末和平常有时候吃晚餐时常在一起。我也向他提起我的理论工作。那时候杨振宁用加速器做的实验好像不很成功。他表示也愿意参加我和罗森布鲁斯一起作的理论分析。当我们的工作在1948年冬完成后,我的同事奥尔(Ore)告诉我,他听说蒂欧姆诺(Tiomno)和惠勒(Wheeler)也做了和我们类同的分析。

在芝加哥大学,我随费米教授做研究生时,每星期费米教授都花半天时间和我一个人单独讨论物理。当然,他对我“μ介子分析”和“费米弱作用普适性”的工作进展是极有兴趣的。1948年圣诞节那个星期,当我按例和他进行半天讨论的时候,费米教授告诉我他刚收到蒂欧姆诺和惠勒文

章的预印本。他又说,你必须赶快把你们的分析写出来,他(费米)会立即写封信给惠勒教授,附一份你们(即李、罗森布鲁斯和杨)的文章复制本,并告诉惠勒你们的工作在他们(指蒂欧姆诺和惠勒)预印本出来以前已经做完了。所以我立刻起笔写文章。由于1948年圣诞节-新年假期,罗森布鲁斯和杨振宁去美国东部旅游。我写完后,只能等他们二位假期后回芝加哥,才能告诉他们费米教授的话,给他们看我已写好的文稿并略加文字修改后,由我们三人署名,立刻寄出。同时也报告了费米教授。1949年1月7日《物理评论》收到这篇文章,3月1日发表。

还有些小插曲。蒂欧姆诺和惠勒在1949年发表的文章(Review of Modern Physics, 21, 144~153)里有一注释说,"李政道、罗森布鲁斯和杨振宁很友好地寄给我们(指蒂欧姆诺和惠勒)一份他们的文章,有同样的分析"。可见科学界对每个工作的评审是很严格的,对已经证明的贡献是极为尊重的。

费米教授在他的著作《基本粒子》[23]中有相当部分就是讨论我和罗森布鲁斯、杨振宁合写的1949年发表的分析。在那本书中,费米教授很推崇我们这篇文章的贡献。

最近我看到江才健的《杨振宁传》中,关于"介子相互作用"这篇文章的叙述后,大吃一惊。去问马歇尔·罗森布鲁斯(Marshall Rosenbluth)他对1948年我们三人合作的那篇文章的回忆是什么?罗森布鲁斯回了两封信给我,一封是航空信,一封是e-mail。

罗森布鲁斯在他的航空信里说:

㉓ E. Fermi. Elementary Particles. New Haven: Yale University Press, 1951

"亲爱的 T.D.(政道): 2003 年 2 月 14 日

关于……论文《介子与核子和轻粒子的相互作用》(Meson Interaction),我同意您说的,那是三位作者合作的工作,我们三个都对这项工作做出了贡献。

您忠实的

马歇尔·罗森布鲁斯

(签名)"

他的 e-mail 说:

"……我记得 1948 年的合作是很愉快的!

我只朦胧地记得和台北的江先生的会面。也许语言的沟通上有问题,但我觉得他对科学问题不太了解。我记得我们所谈的主要是关于 1948 年的合作。当然他所引用的我说的话,是令人不能容忍的。我大概说的是,在 1948 年,杨是比你和我较为成熟的物理学家。我还告诉他,由于我们对科学的兴趣、所走的道路在几年之后已有所不同,我实际上不能对您和杨整个的工作做出评价。我只能说,你们两位都极为聪明、同样受人高度尊敬。

您亲爱的

马歇尔"

很明显,马歇尔·罗森布鲁斯的回忆和我的回忆是一致的,这篇介子相互作用的文章是我们三人合作的结果,各有贡献。杨振宁的叙述是不对的,也是不道德的。

让我现在分析一下杨振宁最近发表的关于这篇文章的说法:"那时候李还没有写过任何一篇文章,只因为他(指李)时常来我的办公室,所以我把他(指李)的名字加了上去。那是他生平第一篇文章,也是他 1953 年以前惟一的一

篇粒子物理的文章。”[24]

杨振宁的第一句话是“那时候李还没有写过任何一篇文章”，虽然是事实，但已有含沙射影伤人之意。可是下面紧接着的一句话“只因为……，所以我把他的名字加了上去”则是彻头彻尾的谎话。杨振宁当然知道这两句话是一真一假，而且没有任何逻辑关系。可是杨振宁将真假两句强连成一个长句子，其目的是造成错觉，企图用这样完全不科学，也是绝对不正当的文字游戏来欺骗读者。然后，觉得这还不够，在下面他再重复一下并加上了最后一句毫无关系，但又是不怀好意的话。

杨振宁加的最后一句“也是他（指李）1953 年以前惟一的一篇粒子物理的文章”，不但和前文毫无关系，也颇令人莫名其妙。杨振宁故意凭空提出 1953 年有什么意义？即便是“惟一的”一篇粒子物理的文章，难道就能说明 1948 年合作的文章没有我的贡献吗？

举一个简单的比方吧。1859 年达尔文发表了《物种起源》(The Origin of Species)。这以前达尔文没有发表过任何生物方面的论文，而这以后，直到 1871 年，达尔文也没有再发表过生物方面的论文（达尔文的 The Descent of Man《人类的起源》，是 1871 年发表的）。但是，“这以前”和“这以后”，虽然达尔文没有发表生物方面的论文，那当然不能因此就否定 1859 年达尔文发表进化论的事实。这逻辑是一位小学生都能理解的。现在杨振宁竟然用如此似是而非的说法想来否定我对 1948 年三人合作的贡献，这是极可笑的。其用意不良，是一目了然的。

---

[24] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.506

我很难猜测杨振宁凭空提出 1953 年的用意。可是在粒子物理的发展史上,1953 年是很重要的。1953 年恰好是粒子物理研究开始使用 GeV(十亿电子伏特)级的高能加速器的一年。让我简单地介绍一下这段历史。

1953 年以前,除了上世纪早期就知道的质子、电子和中子以外,所有其他的粒子,如 π 介子,μ 介子,θ、τ 等都是在宇宙线里发现的。因而,1953 年以前粒子物理和宇宙线物理是很难分开的。宇宙线来自天体,因而粒子物理和天体物理也是密切相连的。

宇宙线是如何产生的呢?宇宙线的来源是因为星云之间的流体和星云之间的磁场组成了一台有如整个星系或整个宇宙那样极庞大、极庞大的加速器。这台大自然的加速器将星云之间的质子加速成高能粒子,然后经过碰撞,产生了 π、μ……等粒子。所以,1953 年以前,真正研究粒子物理的理论物理学家,也必须精于天体物理、流体物理和磁流体物理。在 1953 年前,研究这样巨大领域的创业大师就是我的导师费米教授。1953 年以前,费米教授和我对这些领域均做出过贡献。

杨振宁在天体物理、流体物理和磁流体物理领域里从来没有工作过。事实上,杨振宁喜欢的是数学物理,不是粒子物理。当时他就很难了解费米教授和我为什么对这些领域都会有很大的兴趣。其实,在学问的最高层次,所有这些不同名称的物理,都是同一个物理。而真正物理学家其研究的目的,就是要把所有形形色色,似乎不相关的自然现象都归纳成同一组基础原理,都能融会贯通。这就是物理之精华。这也就是为什么在 20 世纪的中叶,粒子物理被认为是物理学中精华的精华的原因。

1953 年的 1 月,美国布鲁克海文实验室建成了 3.3

GeV 的 Cosmotron,是当时世界第一台 GeV 级的高能加速器。从 1953 年开始,通过人造的高能加速器产生了 ρ、φ、Λ、Σ、Ξ、Ω……种种新粒子。于是,粒子物理研究进入了一个新的、独立的阶段。那时我的注意力也集中地放在这新形成的,和高能加速器有密切关系的粒子物理领域上面。

在 1953 年之前,不包括和罗森布鲁斯及杨振宁合作的那篇文章,我已写了八篇文章,是在天体物理、流体物理、磁流体物理、固体物理、统计物理等领域,都是相当重要的。1953 年 Cosmotron 建成后,我又写了两篇粒子物理的文章,包括盛极一时的李模型。

在 1956 年关于宇称不守恒的文章刊载以前,我已经写了 20 多篇物理论文,其中一半是在粒子物理(即介子、重子、场论等)领域。那时候,在粒子物理、天体物理、流体物理、固体物理、统计物理各领域里,我都已做出了基本性的贡献,其重要性至今如昔,经得起时间和历史的考验。我在物理界的声誉早年就已建立,我对全世界物理发展的影响也一直是大家公认的。杨振宁的这些说法是故意制造和加强读者的错觉,想用如此低劣的手段,伪造历史,以假乱真,企图贬低和吞夺我的工作和贡献。我相信,读者是不会被他欺骗的。

(8)问:杨说,1948 年以来你们长期合作的许多文章,90%是他起的头,他做的主要突破,他执笔写的文章,包括 Parity(宇称)文章在内。[25] 这种说法是事实吗? 您有什么看法? 能否具体做一些分析?

(8)答:杨振宁的说法完全不准确,完全不符合事实。这都是杨振

㉕ 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.506

宁单方面的自夸自赞，想用这种极端夸大的说法，恶意贬低我的人格和贡献。从上面讲过的1956年宇称不守恒思想的突破和1948年我和罗森布鲁斯和他合作的文章《介子相互作用》这两个例子来看，他的谎言已经不攻自破了。

杨振宁喜欢到处夸张自己和随意轻视别人，可能已形成一种很深的不良习惯。举一个和我无关的例子吧。1946年杨振宁到美国芝加哥大学时，他非常想做费米教授的博士研究生，可是费米教授没有收他。在《杨振宁传》里有下面贬低费米的记载：

“费米在30年代也做过场论的工作，不过后来就转到实验工作去了，所以40年代杨振宁到芝加哥大学的时候，在场论方面的知识比费米还要深入。”[26]

第一句话“也做过场论的工作”就不太恰当。费米教授是场论主要创始人之一，30年代时他将场论应用在β衰变过程上。这是一件划时代的贡献，后世称为“费米弱作用”。在同一时期，费米教授又建立了新的量子电磁场和量子电动力学的处理法，其重要性至今如昔。

当杨振宁在芝加哥大学的时候（1946年～1949年），费米一共有19篇物理文献发表，其中9篇是理论工作，包括他著名的三大里程碑式的贡献：

《负介子在物质中的衰变》（1947）

[The Decay of Negative Mesotron in Matter（1947）]

《负介子在物质中的俘获》（1947）

[The Capture of Negative Mesotron in Matter（1947）]

《宇宙辐射的来源》（1949）

---

[26] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.104

[On the Origin of the Cosmic Radiation(1949)]。

其中 1947 年的两篇就是前面提过的,费米教授证明了宇宙线的 μ 介子没有强作用的理论分析文章,而第三篇也就是费米教授在他建立的,将粒子物理、宇宙线物理、天体物理、流体物理和磁流体物理综合组成的庞大交叉领域中的一篇奠基性的理论论文。

40 年代还在做学生的杨振宁怎么能够真正度量费米教授理论物理的知识深度呢?杨振宁自夸自捧的程度由此可见。

前面已经说过,在物理研究领域里,合作文章的知识产权属于所有的合作者,不是事后其中任何一位署名者,可以出于己欲,吞没其他署名者的贡献的。而杨振宁在我和他合作已停止了四十多年的今天,毫无任何客观事实根据,用完全单方面的自夸自赞的方法,明目张胆地企图硬性夺取和吞没我和他 1948 年 ~ 1962 年十四年中物理研究合作中我的贡献,这怎么可以呢?我们二人合作做出的贡献,是全世界物理学家早已公认的,有其光辉的历史。杨振宁怎么能够以一己之贪欲,要强行抢夺属于我的那份知识产权呢?真是太岂有此理!杨振宁怎么能够自己独断地宣布,1948 年以来我们长期合作的许多文章,90%是他起的头,他做的主要突破,他执笔写的文章,包括 Parity(宇称)文章在内。这是不对的,不通的,也是很不道德的。简直是一派狂言。

我再重复一下宇称不守恒思想突破的例子。上面已经清楚地说过,这是我 1956 年 4 月上旬独立地做出的,明确地与杨振宁无关。有客观的文献记载,也有当时参加实验的重要物理学家的回忆文章作证明。在我做出那个思想突破后,1956 年 5 月杨振宁才参加进来,和我合作,在我的突破的基础上,对宇称不守恒进行了系统性的分析。1956 年

整个 4 月我们没有合作，这个突破的贡献明显地是和杨振宁毫无关系的。

1948 年～1949 年，我们第一篇合作的文章是我、罗森布鲁斯和杨振宁三人合作和署名的。罗森布鲁斯有亲笔签名的信说，“我同意您说的，那是三位作者合作的工作，我们三个都对这项工作有贡献。”杨振宁自夸性的叙述与事实完全不合，而他侮辱性的说法和黑心的手段也是物理学史上罕见和惊人的。

1951 年我和杨振宁都在美国普林斯顿高等研究院工作，合写了两篇统计力学的文章，对相变现象做出了相当重要的贡献。带头的第一篇论文有两个定理，主要是我证明的。我们完成这篇论文之后，杨振宁要求如果我不在意的话能不能把他的名字放在我的前面，因为他比我大四岁。我对他的要求很觉吃惊，因为这并不是一般物理学界合作的习惯。习惯的排名次序是按合作者姓氏英文第一个字母的顺序来排列。但由于事出突然，当时虽感到很窘，但勉强答应了。稍后，我看了文献，察觉这样做是不对的。当我们写第二篇论文时，我把一些文献给他看，以说明年岁大并不是排名的考虑因素。而且，我又解释，第一篇文章里的两个定理，主要是我证明的，可是我的名字却排在了后面。这样，杨振宁被我说服，同意我的意见，于是第二篇论文名字的排列次序便倒过来了，虽然在第二篇论文中只有一个定理，而其最后主要的一步是杨振宁想出来的。1952 年，《物理评论》上刊登了这两篇论文，其署名次序出现了与惯例不同的情况：

《状态方程和相变的统计理论》

（Statistical Theory of Equations of State and Phase Transitions）

Ⅰ.杨振宁和李政道,《物理评论》87,404(1952)

[C.N.Yang and T.D.Lee, Phys.Rev.87,404(1952)]

Ⅱ.李政道和杨振宁,《物理评论》87,410(1952)

[T.D.Lee and C.N.Yang,Phys.Rev.87,410(1952)]

局外人对这一情况,一定会感到奇怪。可是有谁知道,这正是由于杨振宁不合理的要求造成的呢。

有了那次令人困窘的经历,我决定不再与杨振宁合作,除非他向我重新提出要求,而我要经过考虑后才能决定。所以,在接下来的一年半里,虽然我和杨振宁都还在普林斯顿高等研究院工作,我们并没有合作做任何项目。1953 年我赴哥伦比亚大学任教。1953 年和 1954 年,也没有和杨振宁合作。那时候我自己忙着做粒子物理和高能物理方面的工作,和杨振宁无关。

1952 年我们的合作停止,过了三年以后,才又合作,而这再度的合作与 1954 年杨振宁和密尔斯(R.L.Mills)发表的一篇很重要的文章《同位旋守恒和同位旋规范不变性》有密切关系。可是,在那时候,我对杨和密尔斯合写的这篇文章的出发点,抱有严重的怀疑。

假如整体的同位旋是守恒的话,质子和中子的质量必须相等。可是事实上中子比质子重,中子能衰变成质子加电子和中微子(这就是我们很熟悉的 β 衰变)。因此我们知道整体的同位旋是不守恒的。因为整体是所有局部之和,所以局部的同位旋也一定不守恒,因而同位旋的规范一定可变。规范场的观念起源于电磁场。电子数(也就是电荷)的守恒产生了电子数规范不变性,而电子数的规范场就是大家熟悉的电磁场。那时候我的出发点是,既然同位旋一定不守恒,除了电子数,有没有其他粒子的粒子数是守恒的？由精确的实验证明,最稳定的粒子是质子,比电子的稳

定度还要高得多。所以我认为应该研究“质子数守恒和质子数规范不变性”。

1955年初,有一天杨振宁到纽约来看我。我告诉他我看到了他和密尔斯的文章。我认为他们这篇文章《同位旋守恒和同位旋规范不变性》的出发点完全错误。同位旋既然不守恒,所以同位旋规范也是绝对能变的。我也告诉杨振宁,我正在做“质子数守恒和质子数规范不变性”的分析。

我对我自己的想法充满了自信。不过,我以为杨振宁绝对不会同意我的观点。开始杨振宁是反对。可是经过激烈辩论后,很出我意外,杨振宁居然完全同意我的观点。同时他也很想知道,我对质子数规范场的理论分析的进展。我告诉他,我有一个结果,质子数规范场和它的推广——重子数规范场,可能产生很像引力场这样一个新的作用,可是又有区别。我正在计算和分析。杨振宁要求和我合作,愿意帮助我一起研究。我接受了他的要求。1955年,我们合写了一篇否定杨和密尔斯《同位旋守恒和同位旋规范不变性》出发点的文章,在《物理评论》上发表:

《重粒子守恒和普适规范转换》

(Conservation of Heavy Particles and Generalized Gauge Transformations)

李政道和杨振宁,《物理评论》,98,1501(1955)

[T.D.Lee and C.N.Yang, Phys.Rev.98,1501(1955)]

自1952年我们合作初次分手后,至1955年才再次合作,而这再度的合作,其第一篇文章就是反对杨振宁刚刚完成的“杨—密尔斯同位旋规范场”文章的基本观点。显然,这篇1955年反“杨—密尔斯同位旋规范场”的文章绝对不会是杨振宁带的头。杨振宁自称“90%是他起的头,他做的主要突破,他执笔写的文章”的大话,实在很难自圆其说。

既然,杨和密尔斯 1954 年《同位旋守恒和同位旋规范不变性》的出发点是完全错误的,那为什么“杨—密尔斯规范场”会成为对当代物理极重要的贡献呢?这个问题的回答是,虽然杨和密尔斯 1954 年的文章出发点是不对的,可是他们由此而写出了“杨—密尔斯规范场”方程式。这方程式不能用在同位旋上。但是 20 年后,略加推广,用在夸克间的色动力学作用上是完全准确的。这也就是为什么在 50 和 60 年代,杨—密尔斯规范场的文章并不受物理学界重视的原因。

无疑的,杨振宁是第一流的数学物理学家。可是我和他合作的文章都是以物理为中心和重点的,因为这和我的科学工作的特性和风格比较相合。

虽然 1955 年我们再度合作,可是我还是保持 1952 年自己的决定,除非杨振宁提出要求,并经过我考虑同意后,否则不与杨振宁合作。我们 1956 年宇称不守恒论文的合作,也是经过杨振宁要求后,我才接受的。因为我很不想重复 1952 年那次相当尴尬的经历。同时,我也一直有一种潜在的意识,要警惕杨振宁对我提出的要求,提醒自己应该小心地对待他的要求。

1956 年我和杨振宁合作的宇称不守恒论文写出后,我们不仅开拓了物理学的一个新大陆,也震动了整个物理学界,使他们去重新检查所有以前认为已经了解的物理,尤其是它们的对称性的理论基础。无数新的理论问题需要我们解决,更多的新的实验观察也需要我们分析。这一切像潮水似的一个浪、一个浪地冲击过来。紧张的研究工作和物理学的高速发展,使我疏忽了 1952 年我自己建立的那项警惕。我和杨振宁的合作自然而然地就密切起来了。但是 1952 年我瞥见的阴影,终于在十年后的 1962 年显现,造成

我和杨振宁第二次,也是最后一次的分手。当年的悲剧可能在50年代初的时候就已经播下了种子。

1948年~1956年,在合作写了宇称不守恒的文章以前的八年中,我们合作了六篇文章,是我在同时期所有的论文之少数,仅占三分之一弱。

在1956年写了宇称不守恒的文章以后,1956年~1962年六年中我们合作了二十多篇论文,占我在同时期所有论文的二分之一强。这二十多篇文章可分作三个大领域:

第一个领域是关于对称和不对称的各种现象的分析,是在因宇称不守恒的发现而新开拓的物理领域中做的研究工作。

第二个领域是统计力学和多体问题,属于我和杨振宁1952年统计力学合作领域的扩展。

第三个领域是高能中微子物理和从高能中微子领域推进至中间玻色子的分析研究。

高能中微子领域始于1959年。在高能物理、粒子物理和加速器物理这几个领域中,高能中微子、高能质子和高能电子,三者有平行的重要性。1962年莱德曼(L. Lederman)、史瓦兹(M. Schwartz)和斯坦伯格(J. Steinberger)用高能中微子实验发现和证明了第二代中微子,即μ中微子的存在,因而共获1988年诺贝尔奖。在这个专业领域里,众所皆知,从1959年开始以来,我是高能中微子理论界的领袖。高能中微子研究领域的创建人史瓦兹在1972年发表了下面的回忆叙述[27]:

"哥伦比亚的中微子实验的开头,起源于在普平(Pu-

[27] M. Schwartz. Birth of the High Energy Neutrino Experiments. B. Maglic ed. Adventures in Experimental Physics, volume α. Princeton: World Science Communications, 1972. 82

pin)实验室八楼的一个日常喝咖啡的休息时间。每天,在那儿,老师和研究生们快乐地相聚半小时,放松他们日常的工作。这正是新(和旧)观念讨论的地方,经常是由李政道(T.D.Lee)活跃地带头在黑板前讨论。

"在1959年11月一个星期二的下午喝咖啡休息时,我恰好到得稍晚,我发现已有活跃的一群人围绕着T.D.(政道,这是我们通常对李政道的称呼)讨论什么是最好的方法去研究高能量下的弱作用。在黑板上写着很多不同种可能的反应,用了所有知道的粒子——电子、质子、中子。可是没有一个是合适的……

"那天晚上,忽然我想到,这是很简单的,只需要用中微子。因为中微子的作用很弱,所以一切它们的作用是弱作用。第二天早晨,我奔到李政道的办公室。……"

很清楚,高能中微子领域的最早开端与我有密切的关系,而与杨振宁无关。上面已经提到了1956年~1962六年中我和杨振宁合作的二十多篇论文,可分做三大领域。我现在再总结一下,第一个领域的开始是宇称不守恒,而宇称不守恒的突破思想是我1956年4月独立做出的,与杨振宁无关。第二个领域是属于我和杨振宁1952年统计力学合作领域的扩展,而1952年我们合作的带头第一篇文章有两个定理,主要是我证明的。第三个领域的开始是高能中微子领域,而这高能中微子领域的最早开端又是与我有密切关系,与杨振宁无关。

既然是二人的合作,应该根本没有必要去强调是谁先谁后,谁主谁辅。可是今天杨振宁怎么能自称我们的合作工作,90%是他起的头,是他做的主要突破,是他执笔写的文章呢?

一般物理论文谈不上什么突破。只有在一个新的、重

要的、大的领域的开始，才会有突破的工作。可是假使这突破工作的论文有合作者，除非的确另有确实的事实证明，这突破的贡献理应属于所有的合作者。

从1982年一直到今天，杨振宁置人证和已有的文献记录这些铁一样的事实于不顾，将当初他反对宇称不守恒的突破想法变成为我反对，硬要将我的贡献化为他的贡献，用这样可笑的做法来贬低和抢夺我的贡献，实在太无聊了。

(9)问：杨说，你们成了名以后，您内心起了恐惧。是您自知对宇称不守恒工作的贡献很小，极怕世人会说您其实不应该得诺贝尔奖。这种恐惧与您的强烈的竞争心交织在一起，腐蚀了您的人品。[28] 您认为杨的这种说法真实吗？对杨举出的一个例子，说您在给诺贝尔奖委员会的自传里不提吴大猷和费米，是因为您受杨的影响超出了他们。对此您有什么看法？杨根据这一件事竟然能得出如此一个结论，您觉得奇怪吗？

(9)答：杨振宁的说法实在太荒谬了。

在1956年写宇称不守恒论文前，我已经在物理学的好几个领域里做出了基础性的贡献。在天体物理，我1950年的论文将白矮星的钱德拉塞卡极限(Chandrasekhar Limit)上限质量从5.6倍太阳质量降到现在大家公认的1.4倍太阳质量。白矮星理论的创建人钱德拉塞卡(S. Chandrasekhar)(1983年诺贝尔奖获得者)很推崇我的贡献，并在1986年和他夫人一起专程来纽约给我祝寿、致贺词。1950年、1951年我发表了两篇流体力学的文章，其中一篇是证明二度空间不存在湍流(turbulence)。这个结论对气象学和海洋学有

[28] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.508

重要的影响，当时就吸引了数学大师和计算机创始者冯·诺埃曼(J. Von Neumann)的注意和推崇。另一篇是三度空间的湍流能量分布理论，为此贡献，量子力学的创建人海森伯(W. Heisenberg)(1933年诺贝尔奖获得者)写了两封信给我，和我进行专题讨论。1952年我和杨振宁合写了两篇统计力学的论文，建立了相变现象和格气体的基础，证明了三个定理。其中，在带头的第一篇文章里有两个定理，主要都是我证明的；在第二篇文章里有一个定理，主要是杨振宁证明的。爱因斯坦很推崇这两篇文章，专门约我们去讨论，并向我们表示祝福。同年，半导体和超导体理论的创建人巴丁(W. Bardeen)(1956年和1972年两次诺贝尔物理奖获得者)遇到一个固体物理的棘手问题，特邀我去伊里诺大学设法解决。为此，1953、54年我和派恩斯(D. Pines)发表了两篇论文，建立了固体物理中的"极化子"(Polaron)领域。1953年我解了场论中很重要的Gell - Mann Low renormalization group方程式。盖尔曼(M. Gell - Mann)是在1969年获诺贝尔奖的。1953年、1954年我又创建了"李模型"。量子力学的创建人泡利(W. Pauli)(1945年诺贝尔奖获得者)和海森伯都给予高度赞扬，并且，他们二位均亲自在"李模型"领域内工作了好几年。

1953年我接受哥伦比亚大学物理系的邀请到该系任教，1956年初就被聘为正教授，当时是在哥伦比亚大学二百多年的历史中在全校各系里，被聘为正教授时最年轻的人。

我的这些成就，在1956年做出宇称不守恒工作以前，就都已完成了。上面提到的论文，只有统计力学的两篇是和杨振宁合作的。

从40年代我做学生时起到现在，半个多世纪，我的才

能、我对物理学多方面的贡献是有目共睹的，是公认的。我在国际物理学界的地位，也是众所周知的。我对此感到自豪。

而且，宇称不守恒思想的突破是我做出的，这是有实验文献和其他科学家的专门文章可以证明的。我和杨振宁在我的宇称不守恒思想突破的基础上对弱作用中宇称不守恒问题做出了具有划时代影响的、系统性的分析。我们合作的论文从而获得了诺贝尔奖。这怎么会引起我内心的恐惧呢？杨振宁凭什么要来乱说和瞎编我的心理呢？

至于杨振宁说，在我给诺贝尔奖委员会的“自传”里不提吴大猷和费米，是因为杨振宁他对我的影响超过了吴大猷和费米，这更是荒唐。

我给诺贝尔奖委员会的并不是什么自传，而仅是约两百字的履历和一张相片。按诺贝尔奖委员会的规定，凡获奖者，必须在瑞典的一所大学或学院，给一个约一小时的学术演讲，称诺贝尔演讲(Nobel Lecture)。这履历，或简单地称为自我介绍就放在诺贝尔演讲的讲稿前，作为向读者和听众的一个短短的介绍，其中需有出生地、生日、得奖时的国籍、父母亲姓名和自己的简单学历等。

这样一件极简单的事情，杨振宁也要大做文章，向我攻击，并且还要自我吹嘘。真是令人啼笑皆非！

而且，明眼人很容易地可以看出，杨振宁将这些写在他给吴大猷老师的那封信里，明显的是在挑拨吴大猷老师和我之间的关系。而现在他在吴大猷老师过世后，又将他这封已寄出的私人信件，硬性地拿回来，发表在他的传记里，其用心不良，是明显的。

说到这里，我想，杨振宁倒要扪心自问，是不是倒是他自己感到了不安？是不是因为宇称不守恒的思想突破是我

做出的，而怕舆论对他不利，从而想用不断攻击我、重写历史的办法，迷惑外界，消除自己内心的恐惧？他自从开始与我合作，就斤斤计较于名次的排列，这在他的传记里也有叙述。这是出于一种什么心理呢？是不是也是与他的恐惧心理有关？是不是也是出于"强烈的竞争心"呢？

(10)**问**：李杨之争的另一个方面，是谁先将争论公布于世的。据杨的说法，是您"四处乱讲"引起的。[29]书里还提到了1962年5月《纽约客》杂志上发表的伯恩斯坦的文章《宇称问题侧记》，说许多人都认为，你们两人也没有否认，正是这篇文章是"造成他们两人关系正式破裂的一个重要因素"[30]，您是这样认为的吗？

(10)**答**：1962年我和杨的分裂，完全是杨的高度贪欲造成的，与伯恩斯坦的文章无关。

虽然宇称不守恒思想的突破是我做出的，但很重要的第二步，即宇称不守恒系统性的分析是我和杨振宁合作的。为此我们获得了1957年诺贝尔奖。和杨振宁不一样，我说话一向是很谨慎的，对自己的为人，要求一向是很严格的。可是杨振宁1982年，公开地以文献的方式重写历史，抢夺我在宇称不守恒突破上，以及其他方面的贡献。这使我不得不写下我1986年的回忆，以维护真理。

在这之后，我又一如既往地在自己的工作岗位上，将全部精力放在物理研究上，放在培养人才和帮助发展祖国的科技事业上。可是杨振宁还是继续不断地重编历史。

---

[29] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.505

[30] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.217

最近他又借江才健的《杨振宁传》不顾一切地、全面地侮辱和贬低我的人格和贡献。这使我不得不再次花时间进行申辩以伸张正义。

因此,用杨振宁所说的“四处乱讲”四字,来描写他自己 1982 年至今日的行为倒是相当恰当的。

为了反驳他的许多指责,让大家判断是非,我会在稍后把杨振宁提到的有关的英文文章都翻译成中文,聚为一册出版,其中也包括伯恩斯坦的文章,供大家阅读鉴别。

(11)**问**:杨认为,伯恩斯坦的文章中对您有不真实的揄扬。可是我今天读了这篇文章却看不到他所谓的揄扬。您能否猜想,他指的是那些段落?

(11)**答**:我也看不出伯恩斯坦的文章对我有什么不真实的揄扬。我认为,他写的事是真实的。伯恩斯坦根本没有说在杨和我之中,是谁首先独立地做出了宇称不守恒思想的突破,他没有偏袒哪一个人。所以,我无法猜测杨振宁的想法,也不理解杨振宁举出伯恩斯坦的文章究竟有什么用处,目的是什么。我建议大家可以去读读这篇文章,一定会得出与我相同的结论。

(12)**问**:杨还说,[31]他之所以在他的出版于 1982 年的《论文选及注释》里把问题公之于众,是由于看到了您 1970 年的文章《弱相互作用的历史》和 1979 年富兰克林的文章《宇称不守恒的发现与未发现》。[32]这些文章,一般人很难看到。您是如何评价这些文章在李杨之争中的作用的。

---

[31] 杨振宁文集.华东师范大学出版社,1998.62

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983.30

[32] A. Franklin. The Discovery and Nondiscovery of Parity Nonconservation. Stud. Hist. Phil. Sci., 1979, 10(3): 201 ~ 257

(12)答:前面已经说过了,我和杨振宁 1962 年的分裂是由于他过度的贪欲。我完全不能理解,为什么他要假借我 1970 年的《弱相互作用的历史》的演讲和 1979 年富兰克林的文章作为根据,对我进行攻击。前面已经说过了,我 1970 年《弱相互作用的历史》一文仅是我在意大利恩瑞奇暑期学校一小时的演讲,内容是 1930 年～1970 年弱作用发展四十年历史的大纲,根本没有讨论宇称不守恒思想突破的情形,当然,也完全没有强调是我独立地做出的突破。

同样的,富兰克林 1979 年的文章中,和伯恩斯坦的文章一样,也没有涉及在杨和我之中是谁首先独立地做出了宇称不守恒思想的突破这个问题,也没有偏袒哪一个人。杨振宁之所以要这样做,无非是要寻找一些借口,为他在 1982 年的《杨振宁论文选集》里重写历史所用。上面我已经提过,我已经准备好将这些已发表过的英文文章翻译成中文,收集成一本文集出版,供大家鉴别。

(13)问:后来(1986 年)您还写了《破缺的宇称》[33],是说明什么问题?

(13)答:我 1986 年写了《破缺的宇称》。1986 年是我第一次,也是截止到现在惟一的一次,在杨振宁 1982 年书面公开我们的分歧后,公开说明我 1962 年与杨振宁分裂的经过。我写该文的原因是叙述我们合作和分裂的真正过程,以维护历史事实,指出 1982 年杨振宁写的东西是不符合事实的。

(14)问:那么,1986 年您写的《往事回忆》[34] 又谈了些什么事情?

---

[33] T. D. Lee. Broken Parity. T. D. Lee Selected Papers, volume 3. Boston: Birkhauser Inc., 1986. 487～509

[34] T. D. Lee. Reminiscences. R. Novick ed. Thirty Years Since Parity Nonconservation. Boston: Birkhauser Inc., 1988. 153～165

(14)答:1982年杨振宁重写历史,也谈了很多1962年前,甚至40年代我和他做学生时候的情形,他都是自夸自赞,重写历史,与事实不合。所以1986年我写了两篇文章,就是《破缺的宇称》和《往事回忆》,后者偏重于早期的事情。

我现在再补充一下40年代的事情。1946年通过吴大猷老师的选拔,我得到了中国政府留美深造的奖学金,进入芝加哥大学研究生院为理论物理研究生。那时候,我对经典和近代物理的了解都有自己的心得,很快地就得到了学校各位教授的注意。最杰出的费米教授先邀请我参加他主持的(需费米教授亲自邀请才可参加)每周两个晚上的物理讨论会,然后又答应担任我的博士导师。我入芝加哥研究生院后不久,芝加哥大学成立了一项新的奖学金,称为"全校奖学金"。我被物理系推荐并被选中,得到了这份在全芝加哥大学来说是极富荣誉的三年的奖学金,共四千五百美元。再加上中国政府的五千多美元的奖学金,当时我是很受其他同学羡慕的。

杨振宁也是1946年到芝加哥的。比我早到几个月。《杨振宁传》上写道:"1946年……,杨振宁在芝加哥大学物理系的课堂上终于看到了费米,那一年费米教了一门核物理,杨振宁正式成为费米的学生。"[35]这个说法其实很不妥当。因为在一般研究生院里,习惯上说谁是某某教授的"学生",是指该教授的"博士研究生",并不是和其他一、二百学生一起听一堂课就可以自封是某某教授的学生了。《杨振宁传》里又说,他也去找费米教授,想做费米教授的研究生。因为费米教授的实验工作是在阿冈国家实验室,

[35] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.95

那里因为“进行国防研究,有安全保密的限制”,而他是拿中国护照的外国人,所以“不能到阿冈国家实验室去工作”,因而没有成功。[36] 其实,杨振宁在芝加哥大学的那一段时期,费米教授在芝加哥大学理学院 Ryerson 楼有一相当大的实验室,没有国防和安全保密的限制。费米教授的主要几位实验物理博士研究生也都就在他的 Ryerson 实验室工作,并不像杨振宁说的,必须去离芝加哥有相当距离的阿冈国家实验室做研究。那时候,芝加哥大学物理系用的是两所相连也相通的楼房:Ryerson 和 Eckert(部分 Ryerson 也用于化学系)。费米教授的 Ryerson 实验室进出自由,没有任何国防和安全保密的限制。我 1986 年写的《往事回忆》中提到的六英尺七英寸长的专用大计算尺,就是当年费米教授和我一起在他的 Ryerson 实验室做的。所以阿冈实验室并不是费米教授不收杨振宁的原因。那时,我也是拿中国护照的外国人,可是费米却愿意担任我的博士导师。可见护照也不是费米不收他的原因。

杨振宁又去找泰勒教授,要作泰勒的理论物理研究生。他随泰勒教授“换了两三个题目以后,杨振宁就知道了,他是没有办法跟泰勒做下去的”。[37]于是他又去找费米教授,可是“费米就建议杨振宁到艾立逊的实验室去做实验”,“杨振宁在艾立逊实验室二十个月的实验工作不太成功”。[38] 之后,杨振宁又再次去找泰勒,于是泰勒教授最后

---

[36] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.106

[37] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.110.

[38] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版,2002.110~111

做了他的博士论文导师。

费米教授是世界数一数二的善于教导学生的老师。杨振宁在他 1982 年和以后的回忆里总是吹嘘说，虽然我是费米的学生，可是他事实上是我的老师。[39] 这完全是他牵强附会的自夸自赞。任何学物理的研究生，有了费米教授这样杰出的大物理学家为导师，怎么会去找另一位费米教授不接受的、不太顺利的研究生做老师呢？前面已经讲过，1946 年 ~ 1949 年当我在芝加哥大学时，费米教授开创了一个极庞大、极重要的交叉领域，由粒子物理、宇宙线物理、天体物理、流体物理、磁流体物理综合组成。我在费米教授的引导和教育下在这几个不同而相关的领域中都做出了基础性的工作。杨振宁既不是费米教授的研究生，又从来没有在这些与粒子物理有交叉关系的任何一个物理领域中工作过。杨振宁怎么能够毫无根据，将费米教授几年教导我的事实，一手抹煞，而强将费米教授培养我的成果变成为他的功劳呢？一个人靠着年纪比别人大几岁，就一定要把自己硬说成是别人的老师，既有失谦虚，又十分可笑。不顾事实的好为人师，不是一种正常的心态，不是一位有知识、有修养的学者应有的品格。

1946 年我到芝加哥后才与杨振宁初次认识。我入芝校与杨振宁毫无关系，我的一切入校手续，都是自己办理的。而杨振宁亦要编故事、拉关系给自己带高帽子。《杨振宁传》上说杨“特别照顾他（指我），在芝加哥大学的许多

---

[39] 杨振宁文集.华东师范大学出版社，1998.8

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 - 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983.7

江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.118

事，像是办理入学许可，也都是杨振宁带着李政道去办妥的。”[40] 这完全不符合事实，虽然没有什么重要性，但杨振宁还是要造假。

杨振宁还到处自称他是我长兄，又是我“不折不扣的兄长”。[41] 其实，只要看他几十年，一直到现在，不断地、恶毒地攻击我，他能算得上什么样的“长兄”呢？简直是对中国“长兄”和“兄长”两个名词的极大侮辱。

(15)问： 杨振宁为什么在听到您要斯坦伯格把“李和杨”改为“杨和李”后就大发雷霆，写了那封大骂您的信。[42]“杨和李”的排列次序，是杨一直主张的，您要他们这样做，他为什么又发怒呢？

(15)答： 物理文献的署名，按一般的习惯，其顺序是根据作者英文姓氏的第一个字母的次序而定。这种次序并没有特别的意义。就如中文排名以姓氏笔画数目而定一样。

可是杨振宁在排名次序的事情上，五十年来一直为一种患得患失的思绪所困扰，如入迷津，表现得十分执著，并且很神经质。怪不得奥本海默早在60年代初就说“杨振宁应该去看看精神医生”。[43] 因为杨振宁错误地相信排名在先表示贡献大、名誉大，便借口他年龄比我大四岁，多次恳求我能否将他的名字放在我的前面。1951年发生过一

---

[40] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.118

[41] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.201

[42] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.222~224

[43] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.226

次，1957年在诺贝尔奖授奖典礼举行前他又提出了这样的请求。虽然这两次，我都勉强答应了，但我告诉他，以年龄大小来排名不是科学合作的常规。可是，他1962年4月又提出了几次，虽然我都没有答应，但杨振宁这些不合理的要求，终于成为我们合作分裂的一个主因。同时，他又非常害怕不按姓氏字母次序排名，他排在前面，会被同行们觉得这是不合常规而耻笑他。于是这两种矛盾的心理就造成了他多年来在这一问题上的患得患失和精神上的严重不安。

莱德曼、史瓦兹和斯坦伯格三位在他们各自（或合作）的文章中，在提到我和杨振宁合作的工作的时候，一向都以英文字母次序排序，就是李和杨。他们三人在1962年发表的文章也是如此。我从来没有就这一问题和他们讨论过，或向他们打过招呼，因为根本不需要这么做。

在《杨振宁传》里，关于1962年他大怒的记载是很奇怪的："杨振宁当时不知道李政道是如何跟他们三人说的，可是他立刻听到谣言……。他大怒之下给李政道写了一封信，"说，"李政道在没有知会他，也没有和他商量的情况下，跑去找了斯坦伯格，并且坚持要斯坦伯格把他们论文中杨、李两人名字的顺序不依过去习惯转变过来。"㊹我们由此或许可以看出那时候杨振宁的心态和行为。事实上，根本没有这件事情。可是杨振宁当时却凭信谣言给我写信，大加鞭笞，实际上宣布了我们二人合作关系的终结。这实在不可理解。而时隔几十年后他又在《杨振宁传》里把这封充满神经质的怪信登载了出来，能说明什么问题呢？

㊹　江才健．杨振宁传．台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002．222

更稀奇的是《杨振宁传》里的下述记载：1962年我和他合用一间办公室，杨振宁将这封不可理喻、充满恶毒攻击的信放在我桌上，刚好我不在。可是后来我在的时候，他忽然又回来了。传记上是这样叙述的：

"他心中十分懊悔，所以就把这封信撕掉，丢到字纸篓里。"[45]

可是这封已被他撕掉、已被他丢掉的"黑信"怎么又会在四十多年后复活，全部出现在最近出版的《杨振宁传》里呢？真是不可思议。

在《杨振宁传》里还登载了另一封怪信，又是一封莫名其妙的"毒信"。[46] 传里说，是1968年2月18日杨振宁写给我，可是"没有寄给李"的。当然我也没有收到过。

以前我只在侦探小说上看到过有关这种"毒信"的描述。可是为什么会在《杨振宁传》里竟也出现了这种"毒信"呢？这个问题只有传记主人和传记作者能够回答了。

(16)问：杨在给吴大猷先生的信里总结说，他做过的大错事之一，就是没有把得诺贝尔奖的论文的名次写成"杨和李"，并认为如果当时写成"杨和李"，就不会发生后来的悲剧。[47] 这个说法似乎太过简单，他怎么会拿这样的理由去说服他的老师呢？

(16)答：前面已说过，在我和杨振宁合作时，他不断地为排名次序感到烦恼、忧虑。他相信，利用排名次序就可以取得更多

---

[45] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.225

[46] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.232

[47] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.509

的、不属于他的学术上的荣誉。从这本传记里登载的杨振宁给吴老师的信来看,他至今还是后悔,为什么当时没有恳求将他的名字放在我的前面。

其实杨振宁这种严重的贪欲心理,在很早的时候就存在了。关于我和杨振宁 1956 年 10 月 1 日以李政道、杨振宁次序署名,发表在《物理评论》上的《弱相互作用中的宇称守恒质疑》—文的排名的事,在 1998 年《杨振宁文集》中有下面的记载:

"简单地说,我曾想过要把我的名字排在前面,但后来决定不这样做。这是出于两方面的考虑:一则我不喜欢在排名先后上计较,二则我要在事业上扶持李政道。"[48]

显然,他的这种说法本身就是矛盾的。

前面也已经说过了,物理文献的署名习惯,其顺序是根据作者英文姓氏的第一个字母的次序而定。这种次序并没有特别的意义。就如中文排名以姓氏笔画数目而定一样。可是杨振宁在排名次序的事情上,五十年来一直为一种患得患失的思绪所困扰,如入迷津,表现得十分执著,和他上述自欺欺人的解释完全不一样。

也许可以将 1951 年他向我首次提出排名要求的事情,和他上述自欺欺人的想法放在一起作一整体的分析。在 1951 年时,我和他合作统计力学的研究,带头第一篇文章的两个定理主要都是我证明的,写完后杨振宁要求,如果我不在意的话能不能把他的名字放在我的前面,因为他比我大四岁。我对他的要求很觉吃惊,因为这并不是一般

---

[48] 杨振宁文集.华东师范大学出版社,1998.59

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983.29

物理学界合作的习惯。但由于事出突然，当时虽感到很窘，但勉强答应了。稍后，我看了文献，察觉这样做是不对的。当我们写第二篇论文时，我把一些文献给他看，以说明年岁大并不是排名的考虑因素。而且，我又解释，第一篇文章里的两个定理，主要是我证明的，可是我的名字却不按习惯地被排在了后面。这样，杨振宁才被我说服，同意我的意见，于是我和杨振宁的第二篇统计力学论文的名字排列次序便倒过来了，是依照一般物理学界合作的习惯，以李政道、杨振宁的次序署名。

有了那次令人困窘的经历，我决定不再与杨振宁合作，除非是我自己已经在做的研究，他知道后，想参加，并向我提出要求，然后，由我加以考虑后才能决定。所以1952年我们初次合作分手后，隔了三年，至1955年才又有合作，而在这再度合作的时期中，从1955年～1962年初，杨振宁没有再向我提出过他的反常要求。在我们的合作文章署名上，他不再恳求，希望把他的名字放在我的名字前面。当然他很清楚，这我也是不会答应的。可是就像您问题中所问，从他在给吴大猷老师的信里所总结的[49]，和他上述自欺欺人的解释[50]，我们可以看出，杨振宁的内心中还是极端矛盾的，对排名这个问题还是无法放下的。虽然他知道自己这样的反常贪欲是不对的，但是不能控制，内心中还是非常想要贪。虽然他知道不应该，内心中还是想要千方百计地企图吞夺不属于他的学术上的荣誉。

---

[49] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.509

[50] 杨振宁文集.华东师范大学出版社，1998.59

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1983.29

杨振宁在文章排名上的想法和做法都是错误的。学术上的成就,不是文章排名次序可以决定的(不然,也许更会有人改名,想做鲁迅笔下的阿 Q——即 AaQ 了)。由杨振宁制造并公开化了的李杨之争更不是简单地把名次排列改变一下就能解决的。从他的这种后悔,他的所谓大错事,我们可以看出,直到现在他还保持着他那种不现实、不道德的贪欲,这已经与事实无关了。而且他竟然还要把这种既可笑又可耻的说法写信告诉吴大猷老师,是不是他自以为吴老师会同意他这种幼稚的说法呢?杨振宁的痴迷竟到了这种地步,真是令人难以相信。

(17)**问**:看来,关于李杨之争,要说的话你们二位都已说过,或许说,都已把自己的观点说清楚了。那么,为什么在过了近二十年之后,杨振宁却又同意在他的传记里公开几乎全部的争论细节,公开发表从未寄出的信,公开发表他给吴大猷先生的信和吴先生的回信?而且,据知情人士透露,吴大猷先生生前曾明确表示无论什么时候都不准许发表这些信,而杨则借口恐怕保管人会透露而把信件索要回来并且发表了。是这样的吗?他为什么要这样做?听说吴大猷先生在世的时候,曾多次与人谈及您的为人和人格,给予了很高的评价。是这样的吗?

(17)**答**:杨振宁为了满足他一己的贪婪,毫无道义和情感地将我已过世的老师吴大猷先生强行卷入他和我四十多年前发生的合作分裂之争。杨振宁的行为使我感到十分震惊。他完全不考虑吴老师生平富有正义感的为人和一代大宗师的声誉。我为此感到非常悲痛。杨振宁为什么要这样做呢?是什么目的呢?

在吴老师逝世后,杨振宁借传记之便发表这样一封他单方面给吴老师的私人信件,他当然知道这封信不能对客

观事实给以任何证明。可是他企图用这封私人信件，将他的名字和吴老师的崇高声誉在表面上拉得近一些，企望能够造成一种错觉，似乎吴老师是支持他的，好像吴老师是反对我的。事实上，杨振宁的信纯粹是他的一面之词，谎话连篇，没有任何客观事实支持他的假话，也没有任何地方可以证明吴老师是同情他的。

《杨振宁传》里刊载出来的吴老师1989年7月14日给杨振宁的回信，在其开始部分里，吴老师说："整件事是一极不幸的事，我想真相是不能永远掩盖着的，所以我希望大家都不要再在世人前争，而让真相慢慢的展现出来。"[51]

杨振宁完全违背了吴老师回信上的希望！"让真相慢慢的展现出来"是所有正直和有正义感者都有的愿望。为了纪念吴老师，为了让真相展现出来，我有责任把我所知道的事实提供出来，供大家分辨。

我想顺便说一下我所知道的这封1989年杨振宁写给吴老师的信所以得以发表的故事。据保管人向我的友人透露，吴老师在世时曾有明确交代，任何时候都不能发表这封信。但，杨振宁为了发表他写给吴老师的这封信，在吴老师逝世后曾多次向保管人索要，甚至谎说，他是为了保管这封信以防止别人将它透露出去，才要回这封信的。可是，结果却是为了他拿来发表！对这种做法，我还能说什么呢?!

吴大猷老师和吴夫人冠世女士在世的时候，都和我亲如家人，这关系大家都是知道的。您说，吴老师在世的时候，曾多次与人谈及我的为人和人格并给予赞扬，我也偶

---

[51] 江才健.杨振宁传.台北天下远见出版公司与远哲科学教育基金会共同出版，2002.511

有所闻。不过我认为，这是吴老师对我的一种间接鼓励，我所做的一切都是应该的。

(18)问：江才健的书里描述了大量人际之间的故事，借别人之口，透露了不少暗喻、攻击、中伤。您对此有何评论？

(18)答：四十年来杨振宁千方百计地想占据和夺取我在物理学上的成就。可是物理学家的每个成就和名誉都是经过很严格的学术考验才得以肯定的。杨振宁没有客观事实和任何严格文献的证明，他无法在学术上成功地攻击我。因而他转变方向，用耸人听闻的煽动性的手法，来重写历史。他欺骗的对象从物理学界扩大到一般善良的读者。他以为用暗示、中伤、造谣和各种似是而非的手段来攻击我，这样就可以完全达到他否定历史的目的。

最近出版的《杨振宁传》完全不用客观的事实和学术界严格的标准分别真假。凡杨振宁单方面的宣称，凡杨振宁单方面写给已过世的不同学者的私人信件，连他已经撕掉和扔掉的信，甚至他没有寄出的私人信件，只要能攻击我，都可以突然出现，都可以发表，都可以充作所谓的“事实”，以假乱真。在一本传记中对别人进行如此集中的歪曲和侮辱，是非常罕见的。这种行为是很可耻的，也是极可笑的。

我相信，这条路也是走不通的。公正的读者们是会看出真假来的。

(19)问：李杨之争是历史，是现实。虽然，历史上类似的争论不乏其例，但终归不是一件愉快的事情。能不能借鉴历史，趁两位当事人都还健在，使争论有一个合理的结局？进一步想问一下，您曾为结束争论、恢复和解作过什么努力？效果如何？您认为应该怎样结束这一争论？

(19)答：在科学史上，一个重要贡献的产生和确定往往要经过至少

两个阶段:先是“思想突破”,然后是系统性的“理论分析”或“实验证明”。如果是通过合作而取得成功,不同合作者事后的回忆,尤其对“突破”的产生,可能会有差异。往往是二人曾在同一工作场合讨论,A 的回忆觉得 A 先有这突破的思想,B 可能觉得 B 先有。但,二人的回忆,其不同的时间和空间之差往往是很微小的。同一客观事情,由于 A 和 B 不同的主观立场,其回忆可以不一样。但是,既然二人合作的成功已有公认,对科学史研究者说来,这类争论是不值得研究和分析的。

可是李杨之争则很特别。杨振宁 1982 年发表的和我 1986 年发表的回忆,在对当初 1956 年宇称不守恒思想的突破是什么这一点上是一致的;但是,对宇称不守恒思想的突破是如何产生的回忆上却完全不同。两个说法在时间上相差了约三个星期,地点和情况也完全不一样。当时,这个思想突破,立刻就受到多位很重要的实验物理学家的注意,他们并立刻做了实验和分析,而且把分析的结果写成论文发表了。之后,当时做实验的人又发表了回忆文章。其中对事情发生的时间和经过均有细致、客观的记录。因此,很容易证明这两个说法中哪一个是假的。这种情形是比较惊人的,在科学史上可能也是空前的。

从前面我的回答中提到的文献和客观事实,以及当时参与宇称不守恒实验的物理学家已发表的回忆和专文记载来看,显然杨振宁的说法与事实不合,是假的。

在有了宇称不守恒的思想突破后,宇称不守恒的系统性分析是我和杨振宁两人合作的,为此我们获得了 1957 年诺贝尔奖,这荣誉是我们两人平分的。难道这还不够吗? 可是,几十年来杨振宁对此一直不满足,最近又借出版这本新的传记的机会,再次不顾事实,一意要更大量的

改变历史,这是不能容许的。挑起这新一轮争论的又是杨振宁。我有责任将事实真相披露出来,使大家明了,供历史检验。我认为,尊重事实,尊重历史,是解决争论惟一的方法,只有这样才能形成合理的结局。

这里,我还要补充一点杨振宁在对待我个人方面的一些非同寻常的表现。江才健在他的《杨振宁传》里叙述了当年我和杨振宁相识时的情形。可以看出,杨振宁在对我的看法上一开始就颇有矛盾。例如,书中说"杨振宁看到李政道以后,对他的印象很好"(见《杨振宁传》201 页,下同),"李政道……个性十分的随和"(200 页),但是,杨振宁又说了带着侮辱性的话"李政道是上海人,有一些地方有一点像上海的小开"(207 页)。一方面杨振宁在书中自称为我的"兄长"(201 页)、"大哥"(118 页)、"长兄"(507 页),甚而至于自封为"长辈"(228 页)、"老师"(201 页)、"合作关系中……资深的一方"(236 页),而我则是"小弟"(207 页)、学生、合作中的被扶持对象(236 页);他一人很奇怪地宣称他和我的"情谊比兄弟还要深得多"(226 页),我们"共有的经验和感觉,是我们和我们的太太之间都没有的"(224 页),两人的关系"比我们和我们太太之间的关系还要密切"(241 页)等等,可是,另一方面,却又说"李政道这个人不值得……信任"(207 页),进而骂我"不诚实、很愚蠢而且又居心叵测"(222 页),"无知"(232 页),"不道德……及居心叵测"(233 页)等等;他一方面宣称"不喜欢在排名先后上计较"[52],可是事实上,却一而再,再而三地

---

[52] 杨振宁文集.华东师范大学出版社,1998.59

Chen Ning Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.-Freeman and Company, 1983.29

与我纠缠排名次序；他一方面自称“君子交恶，不出恶声”(505页)，可是实际上是，几十年来，恶声不断，而最近出版的《杨振宁传》对我更是恶言满页。我完全不理解杨振宁为什么会有这些很奇特，而也极矛盾的表现。《杨振宁传》里说，杨振宁是“有分际的君子”、“心胸开阔”、信奉“中庸之道”和“君子之交淡如水”的为人处世的原则(434页)，从上面他的这些表现，人们所看到的是什么君子之风呢？

对我和杨振宁的合作分裂，杨振宁的父亲——杨武之先生在他过世前，向我郑重表示了他的看法。这是一件很不平凡的经过。

1946年我离开祖国后，第一次回国是在1972年。当我和我夫人惠箬回到我们的出生地上海，一位旅行社的工作人员告诉我们，杨振宁的父亲，杨武之先生很想和我见面。

武之先生是众所仰望的数学大师。我在瑞士日内瓦曾和他见过面。1972年他已在医院里。我和惠箬去拜访时，武之先生卧在病床上，病得相当重，说话发音均颇有困难。幸而杨振宁的妹妹杨振玉女士在旁。武之先生觉得事属重要，每一句话，他说后，均由振玉女士重复。

武之先生请我去他病床旁，紧紧地将他的手握住我的手，慢慢地一个字、一个字忍痛地向我说，振玉女士再全句重复武之先生说的话。武之先生说：“很清楚振宁和你(指我)62年破裂的经过，振宁对不起你，请你原谅。”

武之先生再次说：“你们(指杨振宁和我)是天下的奇才，为了中国下一代的学子，虽然振宁对不起你，请你原谅振宁。”然后他更紧地握着我的手，反反复复地、一遍又一遍地说这几句话。

我极受感动，带泪向武之先生说："请您放心，我一定原谅杨振宁过去不应该做的事情，也一定尽力去忘记这些事情。"武之先生听了，手握得更紧了一些。

后来武之先生累了。当惠箬和我告辞时，我们能够觉得出武之先生显现出的欣慰的笑容。回到旅馆后，惠箬和我心情都很沉重，深觉武之先生的为人正直和伟大。

不久，武之先生不幸逝世。三十年后，惠箬也已不在。可是我相信，振玉女士和那位旅行社的陪同，一定都记得这如此令人感动的经过。

之后，我一直努力遵守我对武之先生的诺言——完全保持沉默。可是没有想到十年以后，1982年杨振宁竟发表了如此不真实的文章，做出了这样新的不应该做的事情。这使我1986年不得不写下《破缺的宇称》[53]和《往事回忆》[54]。1986年后，我又回到以前的沉默。但是去年杨振宁通过江才健著的《杨振宁传》，变本加厉地制造更多和更新的假话，使我不得不忍痛再一次打破沉默。

我十分清楚，李杨的矛盾，对中国的学术界，无论怎么说都不是一个好的榜样。1972年武之先生病危时提出的要求："为了中国下一代的学子……"一直沉埋在我的心头。所以，多少年来，凡和杨振宁有关并有公益的事情，我都表示支持，决不抱个人成见。如1999年杨振宁在清华大学创办的高等研究中心大楼落成，我亲自参加它的庆祝典礼，以表祝贺。在1999年国庆前举行的友谊奖颁发大

---

[53] T.D.Lee.Broken Parity.T.D.Lee Selected Papers, volume 3.Boston: Birkhauser Inc., 1986.487～509

[54] T.D.Lee.Reminiscences. R. Novick ed. Thirty Years Since Parity Nonconservation. Boston: Birkhauser Inc., 1988.153～165

会上，我也表示了对他的谦让。2002年北京清华大学为杨振宁举行80寿辰庆祝活动时，我也请人专程前往祝贺。可是，完全出乎我的意外，同年杨振宁却授意出版了江才健写的《杨振宁传》，制造如此大批的、更新的假话公开地攻击我，这才使我被逼，只能又一次打破沉默。

下面是1986年我写的《破缺的宇称》的序：

“一个阴暗有雾的日子，有两个小孩在沙滩上玩耍，其中一个说：‘喂，你看到那闪烁的光了吗？’另一个回答说：‘看到了，让我们走近一点看。’两个孩子十分好奇，他们肩并肩向着光跑去。有的时候一个在前面，有的时候另一个在前面。像竞赛一样，他们竭尽全力，跑得越来越快。他们的努力和速度使他们两个非常激动，忘掉了一切。

“第一个到达门口的孩子说：‘找到了！’他把门打开。另一个冲了进去。他被里面异常的美丽弄得眼花缭乱，大声地说：‘多么奇妙！多么灿烂！’

“结果，他们发现了黄色帝国的宝库。他们的这项功绩使他们获得了重奖，深受人们的羡慕。他们名扬四海。多少年过去，他们老了，变得爱好争吵。记忆模糊，生活单调。其中一个决定要用金子镌刻自己的墓志铭：‘这里长眠着的是那个首先发现宝藏的人。’另一个随后说道：‘可是，是我打开的门。’”

同文的结尾是：

“我和杨的合作在二十多年前结束了。它的价值，不需要更多的说明，就如我们已发表的科学论文所表现出的那样，经得起时间的考验。可是，使我真正感到伤心的，是因为新近出版的《杨振宁1948－1980年论文选及注释》一书使我不得不写这篇文章。”

而现在，使我更为伤心的是，在我和杨振宁合作结束

后的四十年,杨振宁又和江才健合作出版了《杨振宁传》,使我又不得不再次破例,打破沉默,回答今天您问的这十几个问题。

事实上,对杨振宁如此这般的行为,我也完全不知道真正的原因是什么。

参考文献

（叶铭汉　审校）

1.3 BeVπ^-介子产生的不稳定重粒子的性质*

R. 布德(Budde),M. 克瑞廷(Chretien),
J. 雷特奈尔(Leitner),N.P. 塞缪斯(Samios),
M. 史瓦兹(Schwartz),J. 斯坦伯格(Steinberger)
哥伦比亚大学物理系,奈维斯(Nevis)回旋加速器实验室

(1956年6月15日收到)

提要:用1.3 BeV动能的π^-束流照射丙烷泡室,实验上可将下列反应从碳的事例中区分出来:

$$\pi^- + p \to \Sigma^- + K^+$$

$$\pi^- + p \to \Lambda^0 + \theta^0$$

$$\pi^- + p \to \Sigma^0 + \theta^0$$

本文介绍了基于最早的55个这类事例的结果。产生的Σ^-粒子在质心系中的分布有一个朝前峰,Λ^0有一个向后峰。实验上没有观测到明显的产生和衰变的角关联的各向异性,因此,对于三种粒子Σ^-、Λ^0和θ^0都没有自旋超过$\frac{1}{2}$的证据。对于单、双V产生的相对丰度的研究显示,Λ^0和θ^0两者或者具有长寿命的"态",或者具有中性衰变模式。对Λ^0和θ^0的正常带电衰变($\Lambda^0 \to \pi^- + p$;$\theta^0 \to \pi^+ + \pi^-$)的几率的统计分析分别得到$\bar{\alpha}_{\Lambda^0} = 0.3_{-0.12}^{+0.15}$,$\bar{\alpha}_{\theta^0} = 0.3_{-0.12}^{+0.19}$。由一个事例分析得到$\Sigma^-$衰变放出的能量:$\Sigma^- \to \pi^- + n$

---

* 物理评论.1956,103(6):1827~1836

本工作由海军研究署和美国原子能委员会的联合项目部分支持,允许全部或部分复制以用于美国政府的任何用途。

$+Q;Q=118\pm2.6$ Mev。由16个衰变事例得到Σ^-的寿命为$(1.4_{-0.5}^{+1.6})\times 10^{-10}$秒。

Ⅰ.引 言

高能介子在氢上的奇异粒子产生过程已由福勒(Fowler),舒特(Shutt),松迪克(Thorndike)和威特莫(Whittemore)在扩散云室中进行了研究①。这个实验表明,超子和K介子是按照协同产生的假设②③产生的。瓦尔克(Walker)和谢法德(Shephard)④在较低能量下做了类似的研究,一共观测到14个事例,其中9个由布鲁克海文(Brookhavan)小组在1.5 BeV测到,5个由威斯康辛(Wisconsin)小组在1 BeV得到。我们将介绍布鲁克海文小组用动能为1.3 BeV的π^-束流照射液态丙烷泡室获得的初步结果。

我们特别要报告基于55个在氢上的奇异粒子产生事例的结果(见表Ⅰ、表Ⅱ)。这些数据仅仅是开始,继续利用泡室,不久可望获得更多的信息。一个大得多的泡室不久将投入使用,可以期望看到几百个这类事例。以后会做出更全面的有关实验方法和更广泛的实验结果的报告。下面要介绍的结果包括:①产生粒子角分布;②衰变角关联,奇异粒子的自旋;③寿命和其他衰变模式;④Σ^-衰变的Q值。

---

① Fowler, Shutt, Thorndike, Whittemore. Phys. Rev., 1954, 98: 121

② M. Gell-Mann, A. Pais. Proceedings of the Fifth Annual Rochester Conference on High Energy Physics. New York: Interscience Publishers, Inc., 1955

③ T. Nakano, K. Nishijima. Progr. Theoret. Phys., 1953, 10: 581

④ W. Walker, W. Shephard. Phys. Rev., 1954, 101: 1810

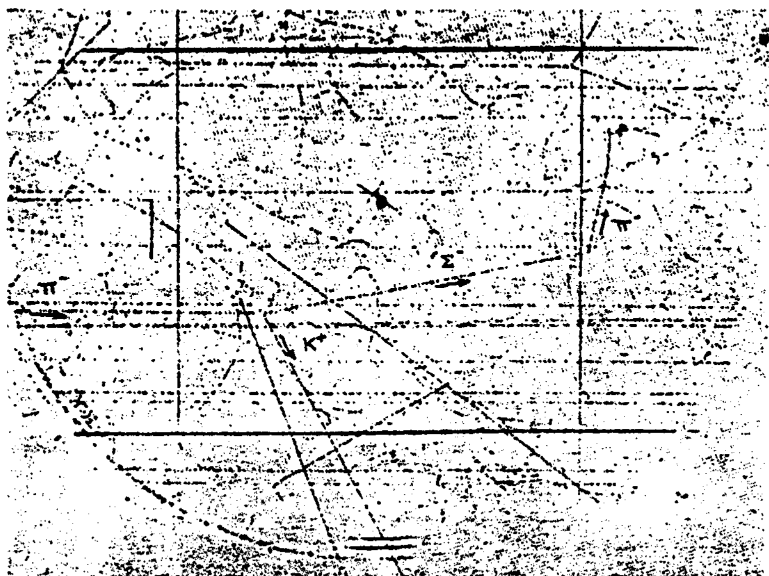


图1　$\pi^- + p \to \Sigma^- + K^+$，$\Sigma^- \to \pi^- + n$。$\Sigma^-$的衰变产物在泡室中停止。它形成一个包含短的质子反冲的星，因此，被鉴定为π^-。

Ⅱ.实验条件

泡室直径$6\frac{1}{8}$英寸，深4英寸。采用暗场照相技术，取立体角为0.25弧度的两个观测方向。没有磁场。丙烷保持在57.5℃，膨胀前压强为340磅/英寸^2。膨胀的丙烷的密度为0.43克/厘米^3；氢的密度为0.078克/厘米^3，比液氢的密度略高。入射束流经仔细准直和磁分析，使得由径迹求得的束流能量分布为±1%。下面将指出，π束流动量的绝对值为1.433±0.015 BeV/c。经过35小时的有效照射，一共得到约25 000张照片，平均每张照片有约15条径迹。

Ⅲ. 事例的鉴定:

在反应运动学的基础上完成对各种产生事例的鉴定:

$$\pi^- + p \to \Sigma^- + K^+ \qquad (1)$$

$$\pi^- + p \to \Lambda^0 + \theta^0 \qquad (2)$$

$$\pi^- + p \to \Sigma^0 + \theta^0, \Sigma^0 \to \Lambda^0 + \gamma \qquad (3)$$

反应(1)中电荷的分配基于盖尔曼(Gell - Mann)的想法⑤,这一想法用在讨论奇异粒子过程的关联时非常成功。按照这个观点,过程 $\pi^- + p \to \Sigma^+ + K^-$ 是禁戒的,在我们的实验中它与(1)无法区分。反应(1)的事例表现为入射 π^- 产生的两叉的星。为了从两叉星中分出 $\Sigma^- - K^+$ 产生事例,它必须满足如下条件:

1. 三条径迹必须共面。

2. 径迹夹角必须与已知的反应运动学一致。

3. 在所观测的角度,径迹的气泡的密度和多次散射必须与对于 K 和 Σ 预期的一致。

4. 在液体中任何停止的粒子的射程必须与运动学预期的一致。

5. 至少有一个次初级粒子在泡室中衰变。

图 1 ~ 图 3 是这类事例的几个例子。

每个投影角测量的精度通常为 ±0.3°,这导致计算的空间角度的误差为 ±1°。气泡的密度和散射条件的应用只是定性的。由于泡室中总的质子截面有一半来自碳的质子,必须考虑到某些我们报告的事例可能是在碳上的擦边碰撞,而不是与自由质子的碰撞。为了估计这种准弹性事例的数目,我们系统研究了约 1200 个两叉星。特别仔细分析了它们弥漫聚集在 $\pi - p$ 弹性散射角关联

---

⑤ M. Gell - Mann(即将发表)。

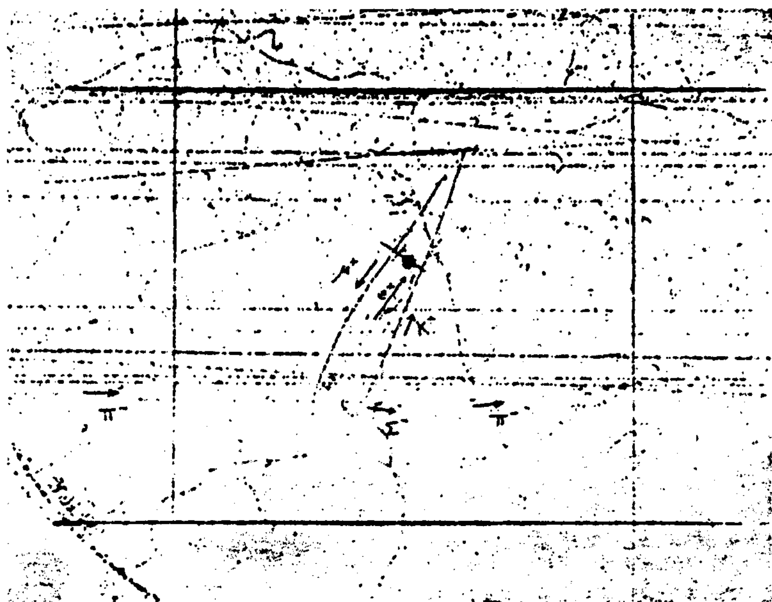


图2 $\pi^- + p \to \Sigma^- + K_{\mu 3}^+$。这里$\Sigma^-$与$K^+$二者都衰变了。$K^+$的衰变产物本身衰变为一个电子,因此,被鉴定为$\mu^+$。

曲线附近的可能性,因为被碰的碳的质子的费米动量会引起量级为550 MeV/c的动量不平衡,或者量级为±10°的角度偏差。这一研究的结果将与氢的弹性散射数据一起以后仔细报告。这里我们要指出,这1200个星中,在我们的测量精度内有660个鉴定为$\pi-p$弹性散射,其余的没有显示出弥漫聚集在$\pi-p$运动学所预期的范围附近。我们认为,延伸到$\pi-p$产生事例接收范围内的本底最多会贡献10个事例,因此,碳污染完全可以忽略。对于$\Sigma^- - K^+$产生,其选择标准同样精确,因此,找到的17个事例中碳的污染可能远小于一个事例。对于$\Lambda^0-\theta^0$产生,选择标准对于本底通常没有这么严格。但我们认为,在报告的37个事例中,碳污染最多会贡献2或3个事例。这些事例的测量精度将在下面更细致地讨

论。

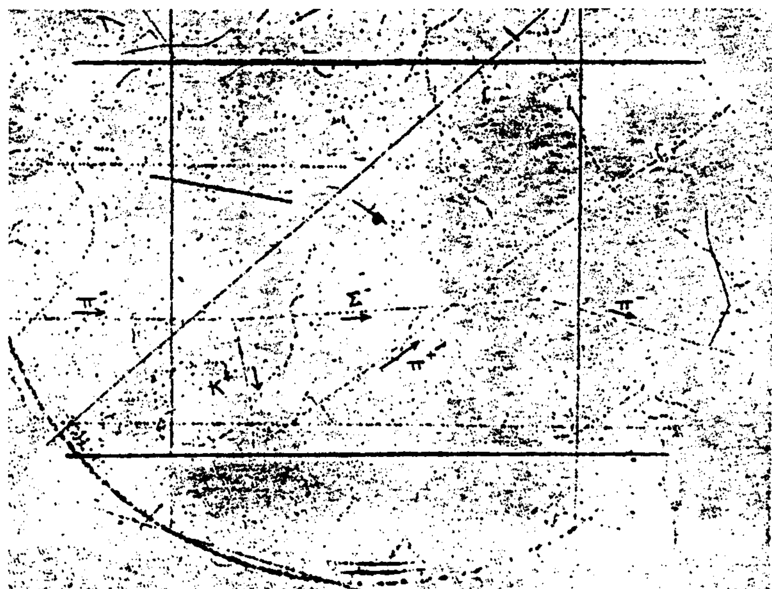


图3 $\pi^- + p \to \Sigma^- + K_{e3}{}^+$。$K^+$的衰变产物是一个最小电离，并且散射很厉害的粒子，因而被鉴定为电子。图中电子被错标为π^+，应更正为e^+。

至今我们已找到17个$\pi^- + p \to \Sigma^- + K^+$的例子。其中16个显示$\Sigma^-$在飞行中衰变。有5个事例在泡室中看到$K^+$衰变的产物。其中3个事例的次级粒子是一个快的电离很小的粒子；有一个事例(图2)中K^+在相当接近液体表面的顶层玻璃中停止，衰变产物重新在泡室中出现，发射一个电子之后停止。因此，这个次级粒子是能量约为20 MeV的μ介子。这个事例则是在氢中的$K_{\mu3}{}^+$产生的例子。在另一个事例(图3)中，K^+在泡室中停止，放出一个最小电离的，散射很厉害的径迹，因此，它被鉴定为电子。这个次级粒子的动量为~40 MeV/c。这是一个K_{e3}^+在氢中产生的例子。

在两个事例中,K^+ 在停止前经历了核碰撞。两者的 K^+ 都相当慢。在其中一个事例中的散射没有看见反冲,因此是在碳上散射。在其中另一事例中,携带10 MeV 剩余能量的 K^+ 在质子上散射。在丙烷中整个 37.7 克/厘米^2 的路径上没有观测到 Σ^- 被散射,也没有观测到 Σ^- 的星。没有发现与假设的 Σ 和 K 的电荷不相匹配的事例。

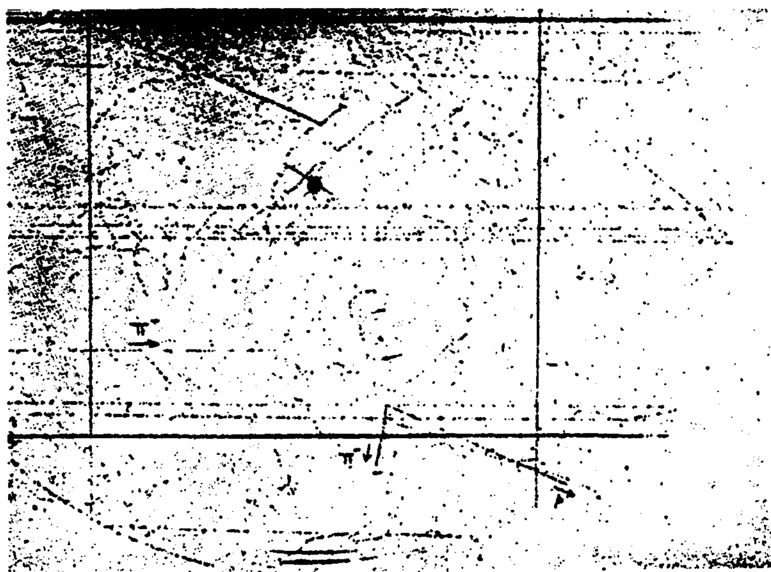


图4 一个 $\Lambda^0-\theta^0$ 产生事例,只看到一个 V。这个 V 被鉴定为 Λ^0,产生一个包含一个慢的 π^- 的星。

在反应(2)的事例中,看到一个或两个由中性不稳定粒子的衰变产物形成的 V 型叉,这是在泡室中停止的介子。例如图 4 和 5 所示。如果只有一个 V,我们则要求 V 型衰变的两个径迹与中性粒子的飞行线共面;中性粒子的飞行线为停止的 π^- 的端点和 V 型叉的顶点的连线。此外,如果利用这些反应已知的 Q 值,就能从

$\Lambda^0(\theta^0)$衰变产物的角度来确定$\Lambda^0(\theta^0)$的能量[6]。用这个方法测量的能量则应该与从观测的$\Lambda^0(\theta^0)$的产生角和已知的产生过程的运动学推得的能量相符。对于观测到两个V型叉的事例，由于以上步骤适用于每一个V，事例能很好地重复确定。更进一步还要求气泡的密度，多次散射，以及可能获得的次级粒子的射程都与反应的运动学一致。在判断此方法的精度时必须记住，由于气泡的密度有限，入射π^-的端点不能精确决定。由这个效应引起的位置的概率误差为$\frac{1}{2}$毫米。Λ^0和θ^0路径的平均长度是2～3厘米，但是如果路径长度为几毫米量级，测量的精度就差。确定Λ^0和θ^0能量的通常精度为5%～15%。

与Σ^+质量相近的Σ^0存在与否的证据还没有定论。但是，理论上有足够理由假定存在这个粒子[5]，它会在很短时间内(10^{-20}秒)以大约70 MeV的Q值衰变为γ射线和Λ^0。在我们的泡室相片图像中，这个产生事例几乎与反应(2)一样(因为Σ^0会在产生处衰变)，除了有以下区别：

1.如果这个事例产生一个θ^0，对于给定的出射角，它的动能将比在$\Lambda^0-\theta^0$产生事例中的低。数值的降低随产生角由小到大而从20%变到50%。

2.如果这个事例产生一个Λ^0，它的能量不能由产生角惟一确定。实际上，由于γ射线出射角的不同，它能分布在一个相当大的区间。

在第(2)和(3)类*的38个事例中，只有4个事例在泡室中观测到两个V，其中3个与$\Lambda^0-\theta^0$产生符合很好，而第4个符合Σ^0

---

⑥ R.W.Thompson.Proceedings of the International Conference on Elementary Particles, Pisa,1955.Nuovo Cimento.(即将发表)

*译者注：原文误为“在第(1)和第(2)类”

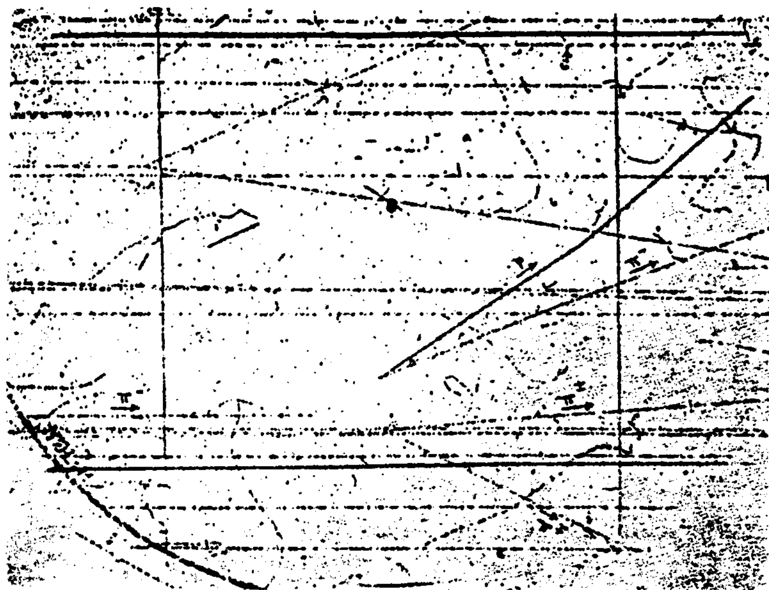


图5　看到两个V的$\Lambda^0-\theta^0$产生事例，Λ^0典型地衰变为一个强电离的质子和一个最小电离的π^-。θ^0给出两个最小电离的π。

$-\theta^0$产生，似乎与(2)不相符。其余34个事例只观测到一个V。其中19个是Λ^0，15个是θ^0。在这些事例中，有15个事例的测量不足以完全区分Λ^0和Σ^0的产生。另外17个事例可以肯定是$\Lambda^0-\theta^0$产生，只有两个事例似乎肯定表明有Σ^0产生。这两个事例中都观测到一个θ^0；在观测到一个Λ^0的事例中，没有一个能肯定地解释为$\Sigma^0-\theta^0$产生事例。

Ⅳ．束流能量

束流能量是用两个特殊的$\pi^-+p\rightarrow\Sigma^-+K^+$事例精确测定的。这两个事例中的$K^+$不通过核作用就达到静止。由$M_{\Sigma^-}=$

$2344m_e$[7],$M_{K^+}=965.5m_e$[8],我们分别求得这两个事例的束流动量 $P_\pi=1.420\pm0.005$ BeV/c,和 $P_\pi=1.447\pm0.005$ BeV/c:由此得到平均动量 $P_\pi=1.433\pm0.015$ BeV/c。后者的误差来自计算轨迹时所定出的束流动量的分布范围。

V.产生的角分布

38个 $\Lambda^0-\theta^0$ 或 $\Sigma^0-\theta^0$ 产生事例的质心分布画在图6中。17个 Σ^-—K^+ 事例的质心角也画在同一图中。无需指出,统计相当差;但是,结果强烈显示,在 Λ^0 产生中,重介子倾向于朝前发射,而在 Σ^- 产生中,重介子倾向于朝后发射。函数 $(\cos\theta_k+1)^2$ 也画在图中作为比较。它表示仅存在 s 和 p 波时所能得到的最尖的角分布。看来似乎相当清楚,较高的轨道动量对终态有可观的贡献。由于超子或重介子的质心动量约为 200 MeV/c,相互作用半径至少应当有 $l\hbar/p\cong2\times10^{-13}$ 厘米的量级。

Ⅵ.产生和衰变中的角关联:Λ^0,θ^0 和 Σ^- 的自旋

如果 Λ^0,θ^0 或 Σ^- 的自旋大于 $\frac{1}{2}$,而且在产生过程中这个自旋是极化的,这极化在实验上则表现为产生和衰变过程的相关角度的各向异性。图7表示过程的运动学情况。我们取衰变粒子为静止的坐标系,变换速度的方向取为 z 轴,产生平面(它在从实验室

---

⑦ Chupp, Goldhaber, Goldhaber, Webb. Proceedings of the International Conference on Elementary Particles, Pisa, 1955

⑧ Heckman, Smith, Barkas. University of California Radiation Laboratory Report UCRL-3156(未发表)

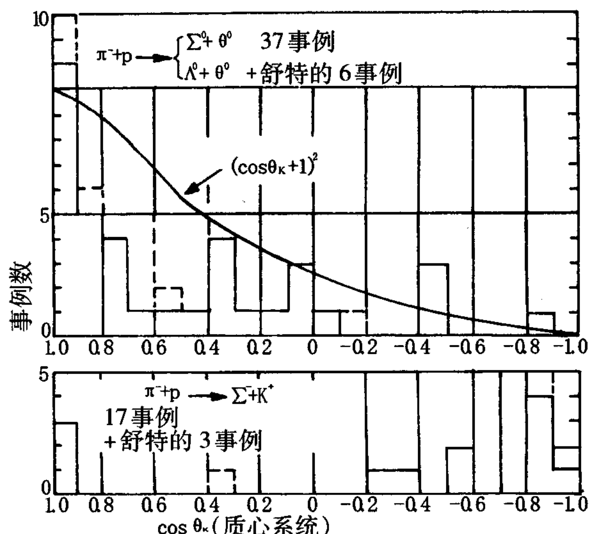


图6 $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \theta^0, \pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + K^+$ 反应的产生角分布。θ_K 是每个事例中重介子的质心角。第六个舒特(Shutt)事例应当插在0.8和0.7之间。

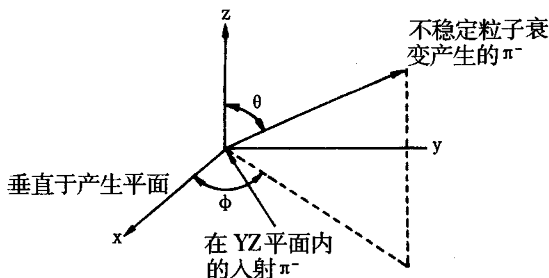


图7 衰变的不稳定粒子为静止的坐标系。z轴是从实验室系到质心系的变换速度的方向。

系向这一坐标系变换时是不变的)的法向取为x轴。如果衰变产物之一,比如π^-介子的极角θ和方位角ϕ为已知,则角关联的信

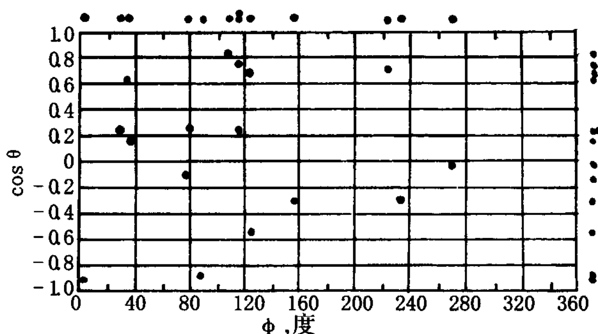


图 8　在 $\pi^- + p \to \Sigma^- \to + K^+, \Sigma^- \to \pi^- + n$ 反应中，极角的余弦对方位角 ϕ 的角关联图。图边上画的是对另一坐标积分后的数据。

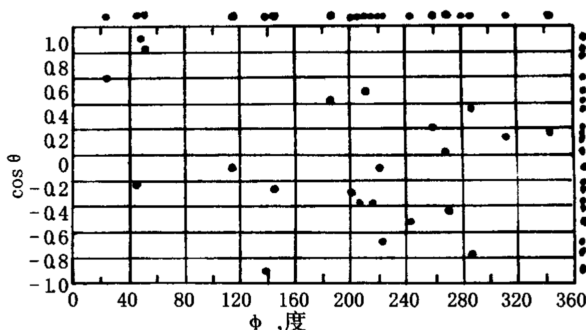


图 9　反应 $\pi^- + p \to \Lambda^0 + \theta^0, \Lambda^0 \to \pi^- + p$ 的角关联图。

息就完全确定了。方位角 ϕ 与衰变和产生平面间的(不变的)两面角相差 $\pi/2$。实验数据由表 Ⅰ 和 Ⅱ 给出。对信息的完全描述应该要求同时描述三个角度：产生角 β 和两个衰变角 θ 和 ϕ。如果对其中一个或两个角度积分，任何存在的各向异性当然就有被掩盖的危险。但是，仅以 20 个左右事例，三维表示很难显示出有意义的趋势。所以，图 8～图 10 画的是对 β 积分以后的数据。在图的边上，画的是对其余两个角度之一积分后的结果。在 θ^0 衰变中不能

区分 π^+ 和 π^-。所以,图 10 中 $\cos\theta$ 只从 $\pi/2$ 画到 π。

表Ⅰ $\pi^- + p \to \Lambda^0 + \theta^0$ 和 $\pi^- + p \to \Sigma^- + K^+$ 产生事例的数据汇集。p 是所观测粒子在实验室系的动量,以 BeV/c 为单位。θ 和 ϕ 分别为衰变粒子静止坐标系(见图 7)中的极角和方位角。β 是重介子在 π^-、p 的质心系中的产生角,最后一列说明事例的性质。(1)≡肯定是 $\Lambda^0-\theta^0$,(2)≡Λ^0 或 Σ^0,(3)很可能是 $\Sigma^0-\theta^0$。

观测的粒子	未观测的粒子	观测的路径长度(cm)	潜在的路径长度 - 0.5 cm	p/mc	ϕ	θ	β	Σ^0 或 Λ^0
Λ^0		0.60	4.65	0.94	46°	103°		
							92°	(2)
	θ^0		2.50	1.46				
	Λ^0		6.55	0.45				
							37°	(2)
θ^0		3.90	7.20	1.95	230°	103°		
Λ^0		0.65	10.85	0.29	217°	112°		
							15°	(2)
	θ^0		10.60	2.36				
Λ^0		1.60	5.95	0.47	114°	96°		
							40°	(1)
	θ^0		2.50	2.13				
	Λ^0		7.80	0.29				
							15°	(1)
θ^0		5.80	10.15	2.25	314°	139°		
Λ^0		1.20	9.20	0.45	212°	60°		

观测的粒子	未观测的粒子	观测的路径长度(cm)	潜在的路径长度 − 0.5 cm	p/mc	ϕ	θ	β	Σ^0 或 Λ^0
							38°	(1)
θ^0		1.20	6.25	2.18	254°	112°		
	Λ^0		9.10	0.88				
							91°	(2)
θ^0		0.40	8.95	1.46	259°	150°		
	Λ^0		12.15	0.26				
							11°	(1)
θ^0		10.60	10.80	2.29	207°	131°		
	Λ^0		8.15	0.40				
							31°	(2)
θ^0		3.05	9.75	2.07	166°	104°		
Λ^0		0.20	2.50	0.45	24°	53°		
							38°	(2)
	θ^0		3.80	2.02				
Λ^0		0.65	12.85	0.35	48°	24°		
							22°	(1)
	θ^0		11.00	2.25				
	Λ^0		11.00	0.32				
							18°	(1)
θ^0		2.65	8.90	2.23	19°	142°		
Λ^0		2.45	3.95	0.32	280°	39°		

观测的粒子	未观测的粒子	观测的路径长度(cm)	潜在的路径长度－0.5 cm	p/mc	ϕ	θ	β	Σ^0 或 Λ^0
							10°	(2)
	θ^0		3.60	2.23				
	Λ^0		5.50	1.61				
							139°	(2)
θ^0		0.47	5.50	0.53	158°	115°		
	Λ^0		10.75	0.85				
							76°	(3)
θ^0		1.45	7.20	1.53	293°	142°		
	Λ^0		4.45	0.70				
							67°	(1)
θ^0		0.85	4.50	1.88	125°	114°		
Λ^0		1.20	4.65	0.42	288°	69°		
							25°	(2)
θ^0		7.75	10.30	2.11	283°	117°		
Λ^0		0.90	2.45	0.55	201°	106°		
							50°	(2)
	θ^0		1.85	1.93				
Λ^0		0.1	6.75	0.76	344°	80°		
							72°	(2)
	θ^0		11.00	1.75				
Λ^0		6.45	11.50	0.85	145°	105°		

观测的粒子	未观测的粒子	观测的路径长度(cm)	潜在的路径长度 - 0.5 cm	p/mc	ϕ	θ	β	Σ^0 或 Λ^0
							81°	(1)
	θ^0		5.40	1.48				
	Λ^0		3.35	1.10				
							34°	(1)
θ^0		7.40	11.45	2.11	158°	102°		
	Λ^0		6.90	0.72				
							67°	(1)
θ^0		5.15	7.55	1.86	2°	99°		
Λ^0		4.10	5.35	0.93	244°	121°		
							89°	(2)
	θ^0		9.80	1.48				
Λ^0		0.2	4.00	0.55	312°	82°		
							53°	
θ^0		3.45	7.30	2.00	351°	165°		
Λ^0		2.40	4.60	1.21	186°	65°		
							117°	(1)
	θ^0		3.05	0.83				
Λ^0		0.65	2.05	0.26	260°	78°		
							10°	(1)
	θ^0		2.05	2.18				
	Λ^0		12.45	0.26				

观测的粒子	未观测的粒子	观测的路径长度(cm)	潜在的路径长度 - 0.5 cm	p/mc	ϕ	θ	β	Σ^0 或 Λ^0
							16°	(1)
θ^0		7.50	12.55	2.11	34°	110°		
Λ^0		5.35	6.70	0.38	207°	111°		
							26°	(1)
	θ^0		7.35	2.23				
Λ^0		4.05	6.85	1.13	287°	140°		
							117°	(1)
	θ^0		12.00	0.98				
	Λ^0		2.00	0.76				
							72°	(1)
θ^0		1.60	6.65	1.72	222°	136°		
Λ^0		2.25	5.65	0.69	139°	155°		
							68°	(1)
	θ^0		9.25	1.88				
	Λ^0		7.40	0.51				
							36°	(3)
θ^0		0.43	8.50	1.88	197°	105°		
Λ^0		0.25	4.50	0.40	268°	88°		
							30°	(2)
	θ^0		2.80	2.20				

观测的粒子	未观测的粒子	观测的路径长度(cm)	潜在的路径长度-0.5 cm	p/mc	ϕ	θ	β	Σ^0或Λ^0
Λ^0		2.70	5.20	0.38	51°	34°		
							25°	(2)
	θ^0		5.55	2.23				
Λ^0		2.52	7.70	0.40	270°	115°		
							37°	(3)
θ^0		2.95	3.05	2.11	193°	165°		
Λ^0		6.65	12.60	1.10	222°	96°		
							114°	(2)
	θ^0		5.70	1.07				
Λ^0		0.25	8.00	0.90	224°	133°		
							85°	(2)
	θ^0		4.60	1.53				

表Ⅱ $\pi^- + p \rightarrow \Sigma^- + K^+$ 反应的数据汇集。符号意义同表Ⅰ。$K_L^+ \equiv K^+$，其次级粒子电离很弱。

观测的粒子	Σ^-的观测的路径长度(cm)	Σ^-的潜在的路径长度-0.5cm	p/mc (Σ^-)	ϕ(Σ^-衰变)	θ(Σ^-衰变)	β	K^+的性质
K^+			1.20			152°	K_L^+

观测的粒子	Σ^-的观测的路径长度(cm)	Σ^-的潜在的路径长度-0.5cm	p/mc (Σ^-)	ϕ(Σ^-衰变)	θ(Σ^-衰变)	β	K^+的性质
Σ^-, K^+	5.5	9.2	1.15	125°	123°	135°	K_L^+
Σ^-	2.1	6.9	0.97	77°	97°	105°	
Σ^-	0.8	9.8	1.00	156°	108°	109°	
Σ^-	1.1	4.2	0.40	116°	41°	21°	
Σ^-, K^+	5.1	10.2	1.18	89°	152°	144°	K_L^+
Σ^-	0.37	2.9	1.14	79°	76°	135°	
Σ^-	3.2	9.1	1.14	35°	81°	132°	
Σ^-, K^+	6.0	9.4	1.21	270°	91°	152°	K_{e3}^+
Σ^-	2.0	4.9	1.08	28°	76°	126°	
Σ^-, K^+	1.7	9.1	1.18	116°	77°	147°	K_L^+
Σ^-, K^+	0.65	6.8	1.19	224°	45°	150°	$K_{\mu3}^+$
Σ^-	0.48	8.6	0.37	107°	35°	18°	
Σ^-	0.33	2.9	0.37	233°	107°	14°	
Σ^-	6.3	8.9	1.14	2°	156°	136°	
Σ^-	3.6	5.4	1.16	124°	48°	137°	
Σ^-	4.6	5.5	1.11	33°	52°	123°	

如果在奇异粒子的产生和衰变中宇称是守恒的量子数,ϕ 和 θ 的分布则应当对 90°(和 180°)对称,即 $f(\theta)=f(\pi-\theta)$,和 $g(\phi)=g(\pi-\phi)=g(2\pi-\phi)$。但是,由于考虑到他们二者的宇称不同,很难解释为什么 $K_{\pi2}$ 和 $K_{\pi3}$ 的寿命和质量相等⑨⑩,在更清楚地验证衰变中宇称守恒的假设之前,演示出所有的数据也许比较更好。其实,这

⑨ Orear, Harris, Taylor(即将发表)。

⑩ Feld, Odian, Ritson, Wattenberg. Phys. Rev., 1955, 100: 1639

些数据本身正是可以用于检验这个假设，因为任何实验上确立的上述对称性的破坏必须归因于宇称不守恒[11]。

应用了上述对称性质后，在图 11 中给出了两面角在 0°～90° 范围内的结果。这可以与福勒(Fowler)等人和瓦尔克(Walker)等人报告的结果相比较，他们的结果基于 8 个 Λ^0 事例，6 个 θ^0 事例和 3 个 Σ^- 事例。在 θ^0 产生中没有显示出极化。但是，他们在氢上的 Λ^0 产生的结果表明，所有 8 个事例的两面角都在 0°和 45°之间。在我们的 23 个有 Λ^0 的事例中，有 12 个事例的两面角处于相同的范围。综合在氢中的所有 31 个 Λ^0，Σ^0 产生事例得到：

$$N(0°-45°)/N(45°-90°)=20/11$$

我们相信，这样的统计不足以证实极化效应。对 Σ^-，比值为：

$$N(0°-45°)/N(45°-90°)=10/6$$

同样，这里的统计也不足以确认极化。

阿代尔(Adair)[12] 指出，当产生角 β 在 0°或 180°附近时，并假定 θ^0(或 K^+)的自旋为 0，Λ^0(或 Σ^-)衰变的 θ 角分布就只由角动量和宇称守恒决定。例如，对于自旋为 $\frac{1}{2}$ 的超子，其 θ 角分布为各向同性，当自旋为 $\frac{3}{2}$，分布为 $\frac{3}{2}\cos^2\theta+\frac{1}{2}$ 等等。

我们用 $|\cos\beta|\geq 0.78$ 的 11 个 Λ^0 和 8 个 Σ^- 事例，计算了这些分布的似然函数。

$$对\ \Lambda^0:\frac{L_{\frac{3}{2}}(\theta)}{L_{\frac{1}{2}}(\theta)}=\prod_{i=1}^{N},\frac{(\frac{3}{2}\cos^2\theta_i+\frac{1}{2})}{1}=0.28$$

---

[11] 这里，我们希望感谢就这些问题与李政道进行的一些非常有帮助的讨论和与 R. 卡布拉斯(Karplus)的通信。

[12] R. K. Adair. Phys. Rev., 1955, 100: 1540

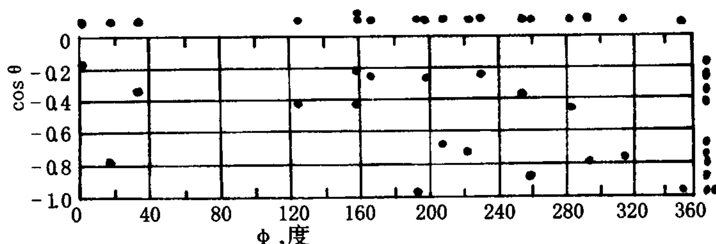


图 10 反应 $\pi^- + p \to \Lambda^0 + \theta^0, \theta^0 \to \pi^+ + \pi^-$ 的角关联图。由于实验中 π^+ 与 π^- 不可分辨，θ 的变化范围取为 π/2 到 π。

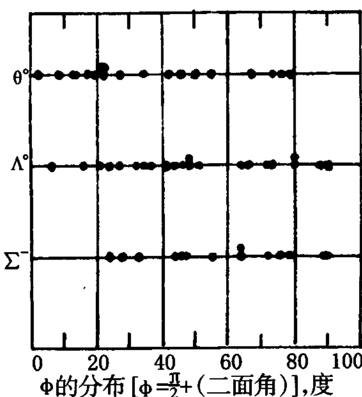


图 11 在 $\Lambda^0, \theta^0, \Sigma^-$ 衰变中的二面角数据。ϕ 是 π/2 加上产生和衰变平面间的二面角。这个图是根据 $g(\phi) = g(\pi - \phi) = g(2\pi - \phi)$ 的对称性质将图 8～图 10 约化所得结果。这一对称性质可由宇称守恒导得，详见文章内容。

$$\text{对}\ \Sigma^-: \frac{L_{\frac{3}{2}}(\theta)}{L_{\frac{1}{2}}(\theta)} = 0.80$$

当假设的自旋 j 增大，似然函数 L_j 会渐渐变小。这里显然不存在超子自旋大于 $\frac{1}{2}$ 的证据；取 Λ^0 和 Σ^- 的自旋都为 $\frac{1}{2}$，得到最好的符合。数据虽然不够，但是这类分析似乎是有希望的。

Ⅶ. 反常的 Λ^0 或 θ^0 粒子

在涉及中性不稳定粒子的产生的范围内，本文有一个基本的

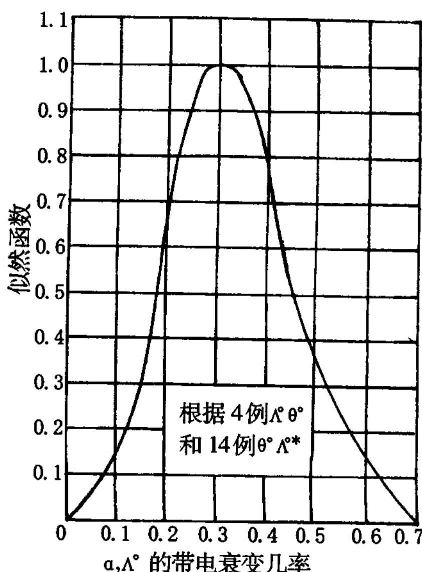


图12　Λ^0的带电衰变($\Lambda^0 \to \pi^- + p$)几率α的似然函数曲线。α的最可几值为$\bar{\alpha}_{\Lambda^0} = 0.3_{-0.12}^{+0.15}$。星号(*)表示只观测到$\theta^0$的事例。

假定,即由单个衰变的观测确定一个事例。未被观测的粒子的轨迹和动量可以由运动学得到,并且,如表Ⅰ所示,未被观测的粒子的潜在的路径也列出了。潜在路径定义为粒子如果不衰变,应有的路径长度减$\frac{1}{2}$厘米;后者约为探测该衰变所必须的衰变径迹的长度。

然后就可以问:如果已经确定一个$\Lambda^0(\theta^0)$是由$\pi^- + p \to \Lambda^0 + \theta^0$过程产生的,随这些$\Lambda^0(\theta^0)$观测到的$\theta^0(\Lambda^0)$的数目是否与已知的潜在路径长度和已知的寿命相容呢?我们只观测到4个双叉事例,尽管对于Λ^0和θ^0的衰变,平均潜在路径都是平均的平均自由程的量级。因此,对于两种情况的回答都是否定的。我们没有额外的信息来回答为什么不能观测到这些粒子。它们之所以逃过探测,或者由于存在$\theta^0(\Lambda^0)$的长寿命"态",或者由于中性的衰变模式。

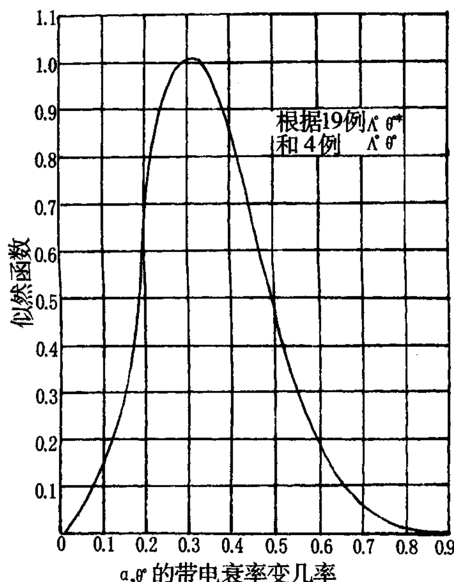


图 13 θ^0 的带电衰变($\theta^0\rightarrow\pi^+ + \pi^-$)几率 α 的似然函数曲线。α 的最可几值为 $\bar{\alpha}_{\theta^0} = 0.3_{-0.12}^{+0.19}$。星号(*)表示只观测到 Λ^0 的事例。

令 α 为经历正常带电衰变的 $\Lambda^0(\theta^0)$粒子的分数,$1-\alpha$ 为长寿命或有中性衰变的分数,对于 N 个 $\Lambda^0(\theta^0)$被观测的反应过程,由于 M 个粒子在时间 $t_1,t_2,\cdots\cdots t_m$ 衰变,而其余的 N－M 个粒子没有被探测,以潜在路径长度在时间 $T_{M+1},T_{M+2},\cdots\cdots T_N$ 消失,我们就可以算出似然函数:

$L(\alpha)=\prod_{i=1}^{M}\frac{\alpha e^{-t_i/\tau}}{\tau}\prod_{j=M+1}^{N}[\alpha e^{-T_j/\tau}+1-\alpha]$,$\tau$ 是 $\theta^0(\Lambda^0)$衰变的平均寿命。作为 θ^0,Λ^0 寿命数据的带权的最佳值,我们取:

$\tau_{\theta^0}=1.25\times10^{-10}$秒⑬⑭

$\tau_{\Lambda^0}=3.0\times10^{-10}$秒⑬⑮

⑬ D. Gayther. Phil. Mag.. 1954,45:570

⑭ Blumenfeld, Chinowsky, Lederman, Booth. Phys. Rev., 1956,102:1184

⑮ D. I. Page. Phil. Mag., 1954,46:863

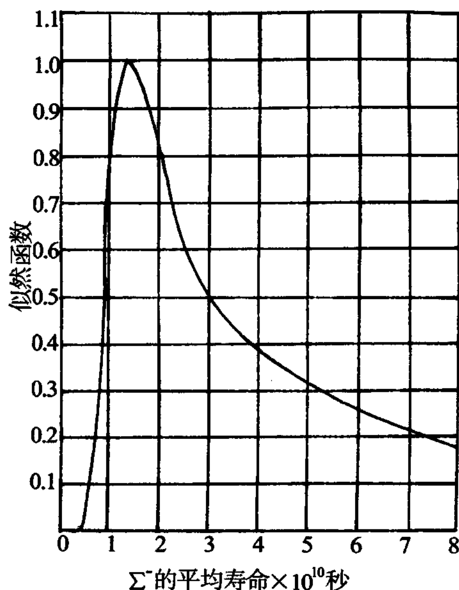


图 14 Σ^-寿命τ的似然函数曲线，τ的最可几值为$\tau_{\Sigma^-}=(1.4_{-0.5}^{+1.6})\times10^{-10}$秒。

似然函数$L(\alpha)$作为带电衰变分支比α的函数，对Λ^0的在图12给出，对θ^0的在图13给出。α的最佳值$\bar{\alpha}_i$及其从$L(\alpha)$的半峰全宽度得到的统计误差为：

$$\bar{\alpha}_{\Lambda^0}=0.3_{-0.12}^{+0.15}$$

$$\bar{\alpha}_{\theta^0}=0.3_{-0.12}^{+0.19}$$

考虑$\bar{\alpha}_{\Lambda^0(\theta^0)}$的可靠性时，必须记住它依赖于寿命的选择。我们研究了这一依赖性。由表Ⅲ看到，由于实验上$\Lambda^0(\theta^0)$寿命的不确定性带来的$\bar{\alpha}_{\Lambda^0(\theta^0)}$的不确定性小于统计误差。

Ⅷ. Λ^0, θ^0, Σ^-的寿命

为计算23个观测的Λ^0，18个观测的θ^0和17个Σ^-的寿命所

需的数据在表Ⅰ和Ⅱ中给出。基于巴特列特(Bartlett)[16]方法的统计分析给出：

$\tau_{\Lambda^0}=(2.0_{-0.7}^{+1.3})\times10^{-10}$秒

$\tau_{\theta^0}=(1.2_{-0.2}^{+7.6})\times10^{-10}$秒

表Ⅲ $\bar{\alpha}_{\Lambda^0}$，$\bar{\alpha}_{\theta^0}$随假设的寿命的变化。

$\tau_{\Lambda^0}\times10^{-10}$sec	2.5	3	3.5
$\bar{\alpha}_{\Lambda^0}$	0.28	0.3	0.32
$\tau_{\theta^0}\times10^{-10}$sec	1	1.25	1.5
$\bar{\alpha}_{\theta^0}$	0.25	0.3	0.35

这与第7节所给出的最佳值尚符合。这里，数据不够多的统计和小的泡室体积排除了精确测量寿命的可能性。Σ^-的寿命从如下似然函数得到：

$$L(\tau)=\prod_{j=1}^{N}\frac{e^{-t_j/\tau}}{\tau(1-e^{-T_j/\tau})}$$

$L(\tau)$作为τ的函数在图14中给出。标记与第Ⅶ节所用的一样。最佳值为：

$\tau_{\Sigma^-}=(1.4_{-0.5}^{+1.6})\times10^{-10}$秒

由$L(\tau)$的半峰全宽度得到的误差是统计误差。据我们所知，这是仅有的与衰变超子的电荷的不确定性无关的Σ^-寿命的测量。

Ⅸ．Σ^-的质量

在16个Σ^-衰变中，有一个产生的π^-停止在泡室内（见图

⑯ M.S.Bartlett.Phil.Mag.,1953,44:249

1)。它可用来决定在$\Sigma^- \to \pi^- + n$衰变中放出的能量。Q值通过测量π^-的射程,它的出射角,以及Σ^-衰变前的速度计算出来。虽然在这一特殊事例中,Σ^-的速度可以从测量K^+和Σ^-的产生角计算出来,但是用第4节中有关束流平均能量的信息,可以得到更精确的值。由入射π束流的动量值1.433 ± 0.015 BeV/c,K^+的产生角64.5°,得到Σ^-的速度为$V/c = 0.742$。由测得的衰变π^-的射程11.6 ± 0.2厘米,密度0.429克/厘米^{3}和丙烷的阻止本领2.49 MeV/克/厘米^3,得到衰变π的动能是24.9 ± 0.26 MeV。实验室系中测得的衰变角为$86.0 \pm 1°$。用这些数字我们得到$Q(\Sigma^- \to \pi^- + n) = 118 \pm 2.6$ MeV。相应的Σ^+超子衰变有$Q(\Sigma^+ \to \pi^+ + n) = 110 \pm 1$MeV。应当指出,由于$\Sigma^-$和$\Sigma^+$不是电荷共轭态,这一质量差尽管对电磁质量而言异常的大,它并不与任何已确立的理论相冲突。由于自能计算中虚重粒子流的电磁作用的不同,就能说明这个质量差。

感　谢

我们利用这个机会感谢格莱塞尔(D.Glaser)博士协助建造泡室,感谢与布茨(E.Booth)博士,莱德曼(L.Lederman)博士和舒特(R.Shutt)博士关于照相技术的讨论,感谢布鲁克海文(Brookhaven)国家实验室质子同步加速器(Cosmotron)部的工作人员,特别是莫尔(W.Moore)博士协助照射。我们也要感谢秦(J.Chin)女士和舒德(H.Shute)先生对我们的扫描设备的非常宝贵的帮助,也要感谢在纽约都波渡口(Dobbs Ferry)的哥伦比亚大学赫德逊(Hudson)实验室的I.B.M.计算机上的工作人员。

弱相互作用中的宇称守恒质疑[①]

李政道 杨振宁[②]

(哥伦比亚大学)(布鲁克海文国家实验室)

(1956年6月22日收到)

提要:本文检验了β衰变及超子和介子衰变中的宇称守恒问题。建议了在这些相互作用中可以检验宇称守恒的可能的实验。

最近,实验显示 θ^+ ($\equiv K_{\pi2}^+$)和 τ^+ ($\equiv K_{\pi3}^+$)介子的质量[③]和寿命[④]几乎完全一样。另一方面,基于角动量和宇称守恒,对 τ^+ 的衰变产物的分析[⑤]强烈建议 τ^+ 和 θ^+ 是不同的粒子,这就形成了一个相当令人迷惑的局面,并引起了广泛的讨论。[⑥]

摆脱这种困境的一种方法是,假定宇称不严格守恒,θ^+ 和 τ^+ 是同一粒子的两种不同的衰变模式,它们的质量和寿命就必须相同。在本文中,我们想在已有的宇称守恒的实验证据的基础上分

---

① T.D.Lee,C.N.Yang Phys.Rev.,1956,104:254~258
本工作由美国原子能委员会部分支持。

② 永久地址:高等研究院,普林斯顿,新泽西。

③ Whitehead,Stock,Perkins,Perterson,Birge.Bull.Am.Phys.Soc.Ser.Ⅱ,1956,1:184
Barkas,Heckman,Smith.Bull.Am.Phys.Soc.Ser.II,1956,1:184

④ Harris,Orear,Taylor.Phys.Rev.,1955,100:932
V.Fitch,K.Motley.Phys.Rev.,1956,101:496
Alvarez,Crawford,Good,Stevenson.Phys.Rev.,1956,101:503

⑤ R.Dalitz.Phil.Mag.,1953,44:1068
E.Fabri.Nuovo Cimento,1954,11:4769
最新实验结果参看 Orear,Harris,Taylor.Phys.Rev.,1956,102:1676

⑥ 参看,例如 Report of the Sixth Annual Rochester Conference on High Energy Physics.New York:Interscience Publishers,Inc.(即将发表)

析这种可能性。我们的分析清楚显示,在强作用和电磁作用中,现有的实验以很高的精确度表明宇称守恒;但是,对弱相互作用(即,介子和超子的衰变作用和各种费米相互作用)宇称守恒至今仍只是外推的假设,并没有实验证据的支持(人们甚至可以说,现在的$\theta-\tau$之谜也许可以视为弱作用中宇称守恒破坏的迹象。但是,这个论点没有被认真对待,因为,我们目前对于奇异粒子的性质了解得太少。倒不如说,这提供了一个检验宇称守恒问题的动机)。要明确地判断宇称在弱作用中是否守恒,我们必须通过实验确定弱作用能否分出右和左。下面将讨论一些可能的这类实验。

目前宇称不守恒的实验极限

如果宇称不严格守恒,所有的原子与原子核都将处于混合状态,它们主要由我们通常认定的态构成,同时混有少量具有相反宇称的成分。后者所占比例称为$\mathscr{F}^2$,这个量代表了宇称守恒破坏的程度。

在原子物理与核物理中确立的宇称选择定则清楚表明,混合度$\mathscr{F}^2$不可能大。从这些考虑我们可以得到的限度为:$\mathscr{F}^2 \leqslant (r/\lambda)^2$,对于多数原子谱,其数值为$\sim 10^{-6}$。一般说来,对核谱所得的极限的精度较低。

宇称不守恒意味着存在使不同宇称混合的相互作用。与通常的作用相比,这种作用的强度一般以$\mathscr{F}$表示,由此得到混合为$\mathscr{F}^2$的量级。这种作用的存在会影响核反应的角分布。但是,我们将看到,这些实验的精度不高,得到的$\mathscr{F}^2$的限度不会好于$\mathscr{F}^2 < 10^{-4}$。

作为例子,让我们检验极化实验,因为它与下面要讨论的一些实验很相似。一束在对于其动量垂直的 z 方向极化的质子流,被原子核散射时,比较对 x - y 平面反射对称的两个方向 A 和 B 上的

散射强度⑦,结果发现二者的差异小于1%。如果这散射是由通常宇称守恒的相互作用加上宇称不守恒的相互作用(比如,$\boldsymbol{\sigma}\cdot\boldsymbol{r}$)引起的,则在A和B方向的散射振幅之比应正比于$(1+\mathscr{F})/(1-\mathscr{F})$,其中,$\mathscr{F}$是散射中两类作用的强度之比。因此,实验结果要求$\mathscr{F}<10^{-2}$或$\mathscr{F}^2<10^{-4}$。

宇称守恒的破坏在所有系统中都将导致一个电偶极矩,矩的大小为:

$$矩 \sim e\mathscr{F}\times(系统的尺度) \tag{1}$$

这一电偶极矩的存在会产生有兴趣的结果。比如,若质子有电偶极矩$\cong e\times(10^{-16}$厘米),则氢原子的2p态对其邻近的2s态的微扰会使2s态移动约1Mc/秒。这将与目前兰姆位移的理论解释不一致。在电子-中子相互作用中还找到另一个例子。中子的电偶极矩$\cong e\times(10^{-18}$厘米)是目前实验允许的上限。

至今最精确的电偶极矩测量由普塞尔(Purcell)、拉姆塞(Ramsey)和史密斯(Smith)完成⑧。他们得到中子电偶极矩的上限为$e\times(5\times10^{-20}$厘米)。由此得到$\mathscr{F}^2$的上限为$\mathscr{F}^2<3\times10^{-13}$,这也是强作用和电磁作用中对宇称守恒的最精确的验证。但是,我们将看到,即使如此高的精度也不足以提供弱作用中宇称守恒的实验证明。为此,需要$\mathscr{F}^2<10^{-24}$的精度。

β衰变中的宇称守恒质疑

初看起来,大量与β衰变有关的实验似乎会提供弱β相互作

⑦ 参看,例如 Chamberlain, Sergre, Tripp, Ypsilantis. Phys. Rev., 1954, 93:1430

⑧ E.M. Purcell, N.f. Ramsey. Phys. Rev., 1950, 78:807

N.F. Ramsey. Molecular Beams. London: Oxford University Press, 1956 引用了 Smith 等人的工作

用中宇称的确守恒的证明。我们仔细检验了这个问题，却发现并非如此，(见附录)。我们先写出五种通常类型的耦合。另外，我们又引入了五种保持角动量守恒，但宇称不守恒的耦合。很明显，这时将β衰变分为允许跃迁，一级禁戒跃迁等等的过程与通常的完全相同。(核态的宇称混合对这些选择定则没有可测量的效应。这一现象将在下节讨论)。然后，我们检验了如下一些现象：允许跃迁谱，特殊禁戒跃迁谱，具有允许谱形状的禁戒跃迁谱，β－中微子关联和β－γ关联。结果发现，这些实验都与β衰变作用中的宇称守恒问题无关。这是因为，在所有这些现象中都不存在宇称守恒和宇称不守恒两类相互作用的干涉项。换言之，计算结果总得到正比于$|C|^2$的项加上正比于$|C'|^2$的项。这里C和C′分别为通常宇称守恒的作用(五项的总和)和宇称不守恒的作用(同样也是五项的总和)的耦合常数。而且，众所周知[9]，如果不测量中微子的自旋，就不可能区分C耦合与C′耦合(假定中微子的质量为0)。我们目前有关β衰变的绝大部分知识来自与上述现象有关的实验结果，因此不能决定C′型相互作用与通常类型作用的混合程度。

CC′干涉项不存在的原因其实很清楚。仅当从实验观测量能形成赝标量时，这种量才会出现。例如，当测量三个动量$\boldsymbol{p}_1$、$\boldsymbol{p}_2$、$\boldsymbol{p}_3$时，就可能有$CC'\boldsymbol{p}_1\cdot(\boldsymbol{p}_2\times\boldsymbol{p}_3)$项。或者，当测量动量$\boldsymbol{p}$和自旋$\boldsymbol{\sigma}$时，会出现$CC'\boldsymbol{p}\cdot\boldsymbol{\sigma}$项。在所有上面谈到的β衰变现象中，都不能从观测量形成这样的赝标量。

β衰变中宇称守恒的可能的实验验证

以上讨论也建议了一类实验，用它可以探测C和C′的可能的干涉，从而可以确定β衰变中宇称是否被破坏。一个相对简单的

⑨ C. N. Yang, J. Tiomno. Phys. Rev., 1950, 79:495

可能的实验是,测量极化原子核的β衰变中出射电子的角分布。设θ为母核取向与电子动量的夹角,θ和180° - θ分布的不对称性就构成β衰变中宇称不守恒的肯定证据。

更明确地说,让我们考虑任意一个极化核,比如Co^{60}的允许β跃迁。β射线的角分布形式为(见附录):

$$I(\theta) = (\text{常数})(1 + \alpha\cos\theta)\sin\theta d\theta \tag{2}$$

其中α正比于干涉项CC′。如果α≠0,我们就得到了β衰变中宇称不守恒的肯定证明。通过测量用分数表示的θ < 90°和θ > 90°的不对称性,就能得到α的值,即:

$$\alpha = 2\left[\int_0^{\pi/2} I(\theta)d\theta - \int_{\pi/2}^{\pi} I(\theta)d\theta\right] \Big/ \int_0^{\pi} I(\theta)d\theta$$

值得指出的是,这时用于极化原子核的磁场将自动把以θ > 90°和θ < 90°出射的电子在空间上分开,因此,这个实验可能是的确行得通的。

初看起来,研究极化核β衰变产物中的γ射线分布,可以从极化核的自旋和γ射线的动量$\boldsymbol{p}_\gamma$形成赝标量。由此看来也许会提供另一种可能的宇称守恒的实验检验。不幸的是,核的能级有确定的宇称,而电磁作用中宇称是守恒的。(任何具有$\mathscr{F}^2 < 3 \times 10^{-15}$的宇称混合都不会影响这个论证。)因此,γ射线携带确定的宇称,这样,所观测的几率函数一定是$\boldsymbol{p}_\gamma$的偶函数。这个性质排除了形成赝标量的可能性。因此,不可能用这种实验来检验宇称守恒。

对β - γ - γ′三体关联实验,基于类似的,但是更复杂的推理,我们可以证明,这三个动量的测量不能提供任何关于β衰变中宇称守恒问题的信息。

在β - γ关联实验中,γ的极化特性能提供一个检验。更确切地说,让我们考虑与β射线平行出射的γ射线的极化状态。如果β衰变中宇称守恒,γ射线就没有极化。相反,如果β衰变中宇称守恒被破坏,一般来说,γ射线就存在极化。但是,这种极化的性质

是圆极化,因而,可能不易实验探测。(通常通过康普敦散射,光电效应及氘的光致离解测量极化的方法都不能探测圆极化。这是因为,圆极化是由平行于传播方向的一个轴矢量规定的,从这些探测技术观测的动量无法形成这样的轴矢量。)对于沿其他方向出射的γ射线,宇称不守恒会导致椭圆极化。这个效应的探测则更加困难。

介子和超子衰变中的宇称守恒质疑

如果像β衰变或介子和超子衰变这样的弱作用中宇称不守恒,宇称混合将作为二级过程在所有这些相互作用中出现。为了检验这个效应,让我们考虑,例如Λ^0的衰变:

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

在这一衰变中宇称不守恒的假设意味着,Λ^0实际上存在两个相反宇称的状态,因此它具有一个电偶极矩,大小为:

$$\text{电偶极矩} \sim e\mathscr{G}^2 \times (\Lambda^0 \text{的尺寸}) \tag{3}$$

其中$\mathscr{G}$是Λ^0衰变作用的耦合强度。($\mathscr{G}^2 \leqslant \times 10^{-12}$因此,$\Lambda^0$的电偶极矩为:$\leqslant e \times (10^{-25}$厘米)。

显然,质子也应当有同样数量级大小的电偶极矩。我们已经看到,这么小的电偶极矩的存在完全与已有的实验信息一致。换另一种说法,比较式(3)与式(1),我们有:

$$\mathscr{F} \sim \mathscr{G}^2$$

因为所有的弱作用,包括β相互作用都有特征的耦合强度$\mathscr{G}^2 \leqslant 10^{-12}$,弱作用中的宇称破坏会引入以$\mathscr{F}^2 < 10^{24}$标志的宇称混合,正如我们已经指出,这个量超出当前实验知识的限度。

如果弱作用破坏宇称守恒,宇称就像奇异数一样,只能在强作用和电磁作用中被定义和被测定。而且,要注意一件重要的事,伴随着奇异数守恒,正如伴随每一个守恒律一样,对所有系统的宇称

都存在一个任意因子。所有奇异粒子的宇称因而只能决定到因子$(-1)^S$。其中S是奇异数。因此,Λ^0(相对于核子)的宇称只是个定义问题。但是,一旦它定义了,其他奇异粒子的宇称就可以从强作用中测得。

介子和超子衰变中宇称守恒的可能的实验检验

要灵敏地、明确地检验弱作用中宇称是否守恒,我们必须确定弱作用是否能区分右和左。只有产生了相反宇称态之间的干涉,才有可能做到这一点。仅观测从一种“粒子”产生的具有相反宇称的两种衰变产物不能提供宇称不守恒的结论性证据,这正是目前$\theta-\tau$之谜所处的状态。

如前所述,仅当所观测的量能形成如$\boldsymbol{p}_1\cdot(\boldsymbol{p}_2\times\boldsymbol{p}_3)$这样的赝标量时,才可能有这些干涉项。与$\Lambda^0$的产生联系起来观察它的衰变,确实提供了这种可能的赝标量,从而提供了检验Λ^0衰变作用中宇称是否守恒的可能性,让我们考虑如下实验:

$$\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + \theta^0, \Lambda^0 \rightarrow p + \pi^- \tag{4}$$

令$\boldsymbol{p}_{in}$,$\boldsymbol{p}_\Lambda$和$\boldsymbol{p}_{out}$分别为实验室系中入射π,Λ^0和衰变π的动量。定义参数R为$\boldsymbol{p}_{out}$在$\boldsymbol{p}_{in}\times\boldsymbol{p}_\Lambda$方向上的投影。R的数值范围在大约$-100$ MeV/c到大约$+100$ MeV/c之间。将矢量乘法从(通常使用的)右手定则变成左手定则意味着改变R的符号。因此,从实验上研究$+$R和$-$R是否以相同的几率出现,可以验证Λ^0的弱衰变相互作用中的宇称守恒。

为了更清楚地了解参数R的意义,我们把$\boldsymbol{p}_{out}(\rightarrow\boldsymbol{p}')$变换到$\Lambda^0$的质心系中。新的矢量$\boldsymbol{p}'$的大小为常数$\cong 100$ MeV/c。可以在球面上画出矢量$\boldsymbol{p}'$出现的次数(频度)的分布。取这个球的z轴为$\boldsymbol{p}_{in}\times\boldsymbol{p}_\Lambda$方向,我们能证明如下两个对称性:

(a)绕 z 轴转 180°后,球面上的频度分布不变。这个对称性是由产生 Λ^0 的强作用过程的宇称守恒决定的,与弱作用的性质无关。

(b)如果在 Λ^0 的衰变作用中宇称守恒,对 Λ^0 的产生平面作反射后,球面上的频度分布不变。

为了证明(a),我们只需考虑,对于由 $\boldsymbol{p}_{\text{in}}$ 和 $\boldsymbol{p}_{\Lambda}$ 确定的产生平面作反射后,产生过程的不变性。这个反射是空间反演后,再绕 z 轴(即产生平面的法向)转 180°的结果。因此,Λ^0 的极化状态在绕 z 轴转 180°后不变,由此得到所述的对称性。

(b)是弱作用和强作用中宇称都守恒的假设的直接结果⑩。对产生平面的反射必定保持整个过程不变。

R 的频度分布,只是球面上的分布在 z 轴上的投影。因此,+R 与 -R 间的不对称意味着在 Λ^0 衰变中宇称不守恒。但是,如果 Λ^0 的自旋不极化,即使在 Λ^0 衰变中宇称不守恒也不存在不对称⑪。所以,为了得到极化的 Λ^0 束流,实验最好以确定的入射能量,在 Λ^0 的一个确定的非朝前产生角上进行。

以上讨论也适用于任何其他奇异粒子衰变过程,只要(1)该粒子的自旋不等于零,并且(2)它衰变为两个粒子,其中至少一个自

---

⑩ 仅当 Λ^0 在强作用中作为具有确定宇称的单个粒子存在时,也就是说,Λ^0 不作为具有相反宇称的两个简并态 ${\Lambda_1}^0$ 和 ${\Lambda_2}^0$ 存在,不是我们曾经建议的那样(T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 102:209),对(a)的证明才成立(如上节所述)。[必须强调的是,如果在弱作用中宇称确实不守恒,(现在)就根本没有必要如此复杂地引进宇称相反的两个简并态]。另一方面,即使 Λ^0 以相反宇称的两个简并态 ${\Lambda_1}^0$ 和 ${\Lambda_2}^0$ 存在,(b)仍然是正确的。总之,(a)中叙述的对称性破坏意味着,存在宇称二重态 ${\Lambda_1}^0$ 和 ${\Lambda_2}^0$,其质量差小于它们的宽度。(b)中叙述的对称性破坏意味着在 Λ 衰变中宇称不守恒。又见注⑭及 T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev. (即将发表)。

⑪ 如果衰变产物中两个宇称间的相对相位为 90°,干涉也可能偶然地不存在。但是,当衰变过程中时间反演守恒,这种情况就不会出现。

旋不为零,或者它衰变为三个或更多个粒子。因此,以上考虑也可应用于$\Sigma^{\pm}$衰变,可能也可以用于$K_{\mu2}^{\pm}$,$K_{\mu3}^{\pm}$,$K_{\pi3}^{\pm}(\equiv\tau^{\pm})$衰变。

在如下衰变过程中:

$$\pi \to \mu + \nu \tag{5}$$

$$\pi \to e + \nu + \nu \tag{6}$$

从静止的π出发,我们可以研究μ介子的动量和在μ的质心系中的电子动量的夹角θ的分布。如果在(5)和(6)中宇称都不守恒,一般来说,对于θ和$\pi-\theta$的分布不相同。为了理解这一点,首先考虑μ的自旋取向。如果过程(5)破坏宇称守恒,一般来说,μ会在它的运动方向极化。在接着的衰变(6)中,对θ角的角分布问题则与我们前面讨论的从极化核上出射的β射线的角分布问题非常类似(完全类似的讨论对$\Xi^- \to \Lambda^0 + \pi^-$和$\Lambda^0 \to p + \pi^-$过程也适用)。

评　注

如果宇称守恒在超子衰变中破坏,衰变产物将有混合的宇称。但这并不影响阿代尔(Adair)[12]和特莱曼(Treiman)[13]关于在特定情况下超子自旋与其衰变产物角分布的关系的论述[14]。

人们会问,是否在弱作用中其他物理守恒定律也会破坏。检验这个问题后发现,重粒子数,电荷,能量和动量的守恒在弱作用中都没有出现破坏。对于角动量守恒和宇称守恒,不能得到同样的结论。对时间反演守恒,也不能做同样结论。初看起来,$\pi^{\pm}$的

---

⑫ R. K. Adair. Phys. Rev., 1955, 100: 1540

⑬ S. Btreiman〉Phys. Rev., 1956, 101: 1216

⑭ 具有相反宇称的$\Lambda_1{}^0$和$\Lambda_2{}^0$的存在可能会影响这些关系。这与注⑩中讨论的对称性(a)的破坏类似。参看 T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev.(即将发表)

寿命的相等及 $\mu^{\pm}$ 的寿命的相等似乎可以用作弱作用中电荷共轭不变性的证明。但是,仔细检验这个问题,发现事实并非如此。事实上,带电粒子及其电荷共轭态在弱作用衰变中寿命相等(对于弱作用强度的最低级)是由在特殊洛伦兹(Lorentz)变换(即没有空间反演也没有时间反演的洛伦兹变换)下的不变性得到的。因此,至今还没有弱作用下电荷共轭不变的实验证据。本文只讨论了宇称不守恒的问题。

人们通常相信宇称守恒,并不问其正确性的可能限度。其实,并没有先验的理由说明,为什么它的破坏不会存在。正如众所周知,它的破坏意味着左右不对称的存在。前面我们已经看到一些实验有可能检验这个不对称性。这些实验将检验,是否现有的基本粒子会显示出对左与右的不对称行为。如果这种不对称的确被发现了,人们还可以问,为什么不能存在显示相反的不对称性的相应的基本粒子,因而在更广的意义上,仍然保持整体的左—右对称。必须指出,若真是如此,则应存在两类质子 p_R 和 p_L,右手质子和左手质子。而且,当前实验室中的质子必须以其中一类为主,以产生假想地被观测到的非对称性,也才会给出观测到的质子的费米(Fermi)—狄拉克(Dirac)统计性质。这意味着,它们之间的自由振荡周期必须比宇宙的寿命长。这样,它们才有可能都被视为稳定粒子。而且,p_R 和 p_L 的数目必须分别守恒,但是它们之间的相互作用并不一定弱。比如,p_R 和 p_L 可以与同样的电磁场,也许同样的 π 场发生作用。它们就可能分别成对产生,导致有兴趣的观测可能性。

在这一图像中,假设被观测到的左右不对称性并不归因于基本的反演不守恒,而是由于在宇宙论的意义上,比如说,p_R 比 p_L 占局域优势。这情况很类似于质子对反质子的优势。沿这些方向的思考是非常有趣的,但已远远超出本文的范围。

作者感谢 M.哥德哈伯(Goldhaber)、J. R.奥本海默(Openhei-

mer)、J.斯坦伯格(Steinberger)和吴健雄(C.S.Wu)的有兴趣的讨论和评论。作者也感谢与R.欧默(Oehme)的有兴趣的交流。

附　　录

如果β衰变中宇称不守恒,哈密顿量的最一般形式为:

$$
\begin{aligned}
H_{int} = & (\psi_p{}^{+}\gamma_4\psi_n)(C_S\,\psi_e{}^{+}\gamma_4\psi_\nu + C_S'\psi_e{}^{+}\gamma_4\gamma_5\psi_\nu) \\
& + (\psi_p{}^{+}\gamma_4\gamma_\mu\psi_n)(C_V\psi_e{}^{+}\gamma_4\gamma_\mu\psi_\nu + C_V'\,\psi_e{}^{+}\gamma_4\gamma_\mu\gamma_5\psi_\nu) \\
& + \frac{1}{2}(\psi_p{}^{+}\gamma_4\sigma_{\lambda\mu}\psi_n)(C_T\,\psi_e{}^{+}\gamma_4\sigma_{\lambda\mu}\psi_\nu \\
& + C_T'\,\psi_e{}^{+}\gamma_4\sigma_{\lambda\mu}\gamma_5\psi_\nu) + (\psi_p{}^{+}\gamma_4\gamma_\mu\gamma_5\psi_n) \\
& \times(-C_A\,\psi_e{}^{+}\gamma_4\gamma_\mu\gamma_5\psi_\nu - C_A'\,\psi_e{}^{+}\gamma_4\gamma_\mu\psi_\nu) \\
& + (\psi_p{}^{+}\gamma_4\gamma_5\psi_n)(C_P\,\psi_e{}^{+}\gamma_4\gamma_5\psi_\nu + C_P'\psi_e{}^{+}\gamma_4\psi_\nu) \qquad (A.1)
\end{aligned}
$$

其中 $\sigma_{\lambda\mu} = -\frac{1}{2}i(\gamma_\lambda\gamma_\mu - \gamma_\mu\gamma_\lambda)$ 和 $\gamma_5 = \gamma_1\gamma_2\gamma_3\gamma_4$。如果β衰变中时间反演守恒,$C_i$ 和 C_i'($i = S, P, V, A, T$)十个常数均为实数,但下面将不引入这一假设。

这一相互作用的计算过程与通常完全一样。比如,我们得到允许跃迁时电子的能量和角分布为:

$$
\begin{aligned}
N(W,\theta)\,dW\,\sin\theta d\theta = & \frac{\xi}{4\pi^3}F(Z,W)\,p\mathrm{W}(\mathrm{W}_0 - \mathrm{W})^2 \\
& \times\left(1 + \frac{\mathrm{ap}}{\mathrm{W}}\cos\theta + \frac{\mathrm{b}}{\mathrm{W}}\right)\mathrm{dW}\,\sin\theta\,\mathrm{d}\theta \qquad (A.2)
\end{aligned}
$$

其中:

$$
\begin{aligned}
\xi = & (|C_S|^2 + |C_V|^2 + |C_S'|^2 + |C_V'|^2)\,|M_{F.}|^2 \\
& + (|C_T|^2 + |C_A|^2 + |C_T'|^2 + |C_A'|^2)\,|M_{G.T.}|^2 \qquad (A.3)
\end{aligned}
$$

$$
a\xi = \frac{1}{3}(|\mathrm{C_T}|^2 - |\mathrm{C_A}|^2 + |\mathrm{C_T'}|^2 - |\mathrm{C_A'}|^2)\,|\mathrm{M_{G.T.}}|^2
$$

$$-(|C_S|^2-|C_V|^2+|C_S'|^2-|C_V'|^2)|M_F.|^2 \tag{A.4}$$

$$b\xi=\gamma[(C_S{}^*C_V+C_SC_V{}^*)+(C_S'^*C_V'+C'_SC_V'^*)]|M_F.|^2$$
$$+\gamma[(C_T{}^*C_A+C_A{}^*C_T)+(C_T'^*C_A'+C_A'^*C_T')]\times$$
$$|M_{G.T.}|^2 \tag{A.5}$$

以上表达式中所有未说明的记号都与标准的记号意义相同(比如,见罗斯(Rose)[15]的文章)。

上面的表示中不包含任何宇称守恒的和不守恒的相互作用部分的干涉项。实际上,在通常表达式中将$|C_S|^2$因子用$|C_S|^2+|C_S'|^2$代替,$C_SC_V^*$因子用$C_SC_V^*+C_S'C_V'^*$代替,等等,可以得到干涉项。如文章中指出,除了能用观测量构成赝标量的情况,这个规则一般都成立。

当能形成赝标量时,如在极化核上的β衰变中,如(2)式所清楚表明,会存在干涉项。在允许跃迁$J\to J-1$(no)中,α为:

$$\alpha=\beta<J_z>/J$$

$$\beta=\mathrm{Re}\left[C_TC_T'^*-C_AC_A'^*+i\frac{Ze^2}{\hbar cp}(C_AC_T'^*+C_A'C_T{}^*)\right]$$
$$\times|M_{G.T.}|^2\frac{v_e}{c}\frac{2}{\xi+(\xi b/W)} \tag{A.6}$$

其中$M_{G.T.}$,ξ和b由(A.3)-(A.5)定义。v_e是电子速度,$\langle J_z\rangle$是初态核自旋分量的平均值,对允许跃迁$J\to J+1$(no),α为:

$$\alpha=-\beta\langle J_z\rangle/(J+1) \tag{A.7}$$

在以上考虑中,已包括了库仑场的效应。

---

[15] M.E.Rose.Beta-and Gamma-Ray Spectroscopy.New York:Interscience Publishers,Inc.,1955.271~291

勘　误[16]

T.D. Lee, C. N. Yang. 弱相互作用中的宇称守恒质疑(Phys. Rev., 1956, 104:254)附录中的(A.4)式应修改为:

$$
\begin{aligned}
a\xi = & (|C_S|^2 - |C_V|^2 + |C_S'|^2 - |C_V'|^2)|M_{F.}|^2 \\
& + \frac{1}{3}(|C_T|^2 - |C_A|^2 + |C_T'|^2 - |C_A'|^2)|M_{G.T.}|^2 \\
& + 2\mathrm{Re}\{i\frac{Ze^2}{\hbar cp}[(C_S C_V^* + C_S' C_V'^*)|M_{F.}|^2 \\
& - \frac{1}{3}(C_T C_A^* + C_T' C_A'^*)|M_{G.T.}|^2]\} \qquad (A.4)
\end{aligned}
$$

这一改变不影响文中的叙述,也不影响附录中的其余部分。作者感谢 R.B.科第斯(Curtis)博士和森田真人(M.Morita)博士[17]指出(A.4)式中的错误。

---

[16] Phys. Rev., 1957, 106:1371

[17] M. Morita. Progr. Theoret. Phys., 1953, 10:346

宇称问题侧记[1]

J.伯恩斯坦(Jeremy Bernstein)

自从第一颗原子弹爆炸的巨响震动人寰以后,物理学在人们的心目中就彻底变了样子。物理学作为几乎是纯科学由学者们在大学和研究所里进行研究的时代已经过去,而且很可能永远不会再返回。物理学家被要求去研究炸弹和火箭以及各式掩体,现代战争的所有各种可怕的装置。一般说来,他们并不很情愿去担负这些责任,但是他们觉得总要有人去考虑既是高技术通常又是非常复杂的事情。因为,如果物理学家不去做,又有谁去做这些事情呢? 人人都知道原子弹和火箭,一方面,使物理学家在社会上有了崭新的地位(正如一则旧笑话所云:“救命呀! 救命呀! 我的做医生的儿子就要淹死了!”今天,也许应该说:“……我的做核物理学家的儿子……”);另一方面,则几乎完全把物理学真正是什么弄得模糊不清了。本来,物理学应该是一门发现自然界规律或者说发现自然界基本原理的科学。实际上,即使制造原子弹和火箭所使用的技术是非常先进的,但并没有采用什么新的物理原理。说真的,把火箭技术与物理学相混同,就犹如把发明长时间录音唱片技术与写作一首交响乐混为一谈一样。当然可以这么说,政府与物理学之间交互作用,对物理学是有益的(即,发现自然界的基本原理),同时对政府也是有利的(即,发明火箭技术)。

---

① Jeremy Bernstein. A Question of Parity. New Yorker, 1962, 38:49

政府对基础科学,或者说对纯科学研究的支持一向是物理学发展的最重要的因素。像位于长岛厄普顿(Upton)的布鲁克海文国家实验室(Brookhaven National Laboratory),她是那种纯粹搞基础科学研究的实验室,是通过多所大学与政府的合作成立的。战后,事情很清楚,某些科研项目太大,由某一所大学来承担是不可能的。于是便有九所大学联合起来成立了一个研究中心。1947 年,他们建立了布鲁克海文实验室。这所实验室用一个旧军事基地,也就是厄普顿军营,来访问的人们很容易感觉到一些建筑物的军事特色。实验室的经费来自原子能委员会,但是由实验室的成员大学来管理。在那里有两台非常大的粒子加速器,AGS(交变梯度同步加速器)和 Cosmotron(同步稳相加速器),后者于 1953 年建成,前者在去年(1961 年——译者)才完成;一座核研究反应堆;一所研究医院;还有许多其他科学装置。实验室的任务是进行纯粹科学的几乎每一个领域的研究。建造一座像 AGS 那样的粒子加速器大约需要 3000 万美元。原子能委员会提供了这笔经费,让来自这九所大学的物理学家来使用 AGS。但是,单独的某项实验需要使用许多专门的仪器,如,电子计算机、泡室等,也许要几十万美元的投资。这些经费也是来自原子能委员会。没有政府的支持,任何一所大学都没有能力支持现代物理研究的巨大开支。由于仪器和经费的庞大,势必会改变单个物理学家的心态。一位负责使用价值约百万美元大型科研仪器,如泡室的科学家,他跟仪器的关系,不会也不可能跟那种在家里自己动手制造的小型仪器一样了。阿色·罗伯特(Arthur Robert)博士,现在在位于芝加哥郊区的阿贡国家实验室(Argonne National Laboratory)工作,是一位音乐家,一位诗人,同时也是一位优秀的物理学家。他感觉到了那些在战前或者说“细绳一封腊”时代成长起来的物理学家被新物理学所引起的一点沮丧和怀旧的心情。但是,在他写了下面这首打油诗之后,他自己继续用那大加速器做实验。

……

在一座古老的军营，
世界上最高级的电子—核机器，
它身价十亿美元，
它产生电压百亿伏，
它要用五千位学者，
七年才能把它建成。

……

它只是个模型，
当然是为了建造更大的机器。
这就是物理学的未来，

……

拿走吧，你的十亿美元！
拿走吧，你的肮脏的黄金！

……

噢，还是拿来那十亿美元吧，
让我们重新做物理学家。

像布鲁克海文那种的实验室，为了开展工作，那里实际需要有三种物理学家。第一种是理论物理学家，他们从事数学物理的工作，如使用数学计算的技巧去尝试预言或解释实验的结果，犹如当年牛顿用引力定律去分析行星运动的观察结果那样（当然通常成功的可能性很小）；第二种是实验物理学家，他们实实在在做实验。第三种可以称他们为仪器学家。他们设计并制造许多实验用的复杂装置，如 AGS。在牛顿时代，实际上，直到不久以前，一位单个的物理学家自己可以完成上述三种人的工作，而现在，什么事情都变得复杂起来。通常，一位实验物理学家，没有时间，或者缺少数学的训练让他去做理论工作。而一位理论物理学家，不太懂做实验

的电子学技术,等等。当然,界线并不是绝对的。但是,一位物理学家能够成功地横跨另一门就十分难能可贵了。事实上,只有已故的恩瑞柯·费米(Enrico Fermi)是惟一的一位现代物理学家,既能够在实验物理又能在理论物理上做出众多的第一流的贡献。费米1901年生于罗马,1939年来到美国,基本上在现代物理学的各个不同领域都工作过。1938年,他因他在中子物理方面的实验工作获得了诺贝尔奖。但在当时他在理论物理的一些领域也做出了开创性的工作。很难说在这些领域中哪个方面的贡献更重要。在战争年代,费米在研制原子弹和核反应堆方面工作。战后,他成为芝加哥大学的教授直到1954年去世。费米同时是理论物理和实验物理学家,又是一位卓越的物理学教授。他吸引了战后整整一代物理学人才来到芝加哥,他们现在都在物理学界起着骨干作用。费米对于实验设备和数学计算方面都是十分精通的。他在他的时代是独一无二的。在他去世后,随着物理学变得越来越复杂,看起来,在未来再也不会出现像费米这样的物理学家了。

对于物理学所有优秀的工作,实验和理论之间有着不断的交流。理论提出做实验的建议,或者反过来。在现代,有关理论和实验关系的最好事例就出现在1956和1957年。由此导致纯粹物理学发生了非常大的进展。尽管现在任何一个人都能指出,这一进展没有任何技术应用。这个发现是由两位物理学家,即杨振宁和李政道共同做出并且于1957年10月一起获得了诺贝尔物理学奖。瑞典皇家科学院称:“他们关于对称定律的深入探索,导致有关基本粒子的重大发现”。杨振宁当时35岁,李政道31岁,是最年轻的诺贝尔奖获得者中的两位;他们至今还是惟一的两位得此重奖的中国人。这项奖金的颁发,确实是战后物理学最令人振奋的岁月的高峰。

在现代物理学中,没有什么可与李杨合作相比美的了。的确,在实验物理学中需要合作,由于实验的复杂性,合作是不可缺少

的。因此,有的实验团队的人员多年合作。然而,理论物理学家喜欢单干是众所周知的。某些人从不与人合作。一些人偶然与人合作(两个人独立做同一项计算要比一个人做两次同一项计算的效率要高得多),但是往往经常改变合作对象。李和杨是理论物理学家,却不在此例。杨作为一名研究生曾在芝加哥大学艾立逊教授(S.K.Allison)的实验室做过一些实验工作。但是,根据我从他的同学那里得到的说法,他在实验室里工作并不是那么得心应手。当时实验室里有一则顺口溜说:“哪里有响声,哪里有杨(Where there is a bang, there is Yang)”,于是不久后他就改做理论工作去了。李则完全没有参加过实验工作(虽然他和杨两人在理解有关实验设备的工作原理方面很有兴趣)。他们都独自做出过出色的工作,前后也和其他人合作过,然而大量的工作,包括他们获得诺贝尔奖的工作,都是由他们两人一起完成的。

1945年,李和杨都是中国昆明西南联合大学的学生,在数月之内(杨在当年,李在次年)他们两人都是靠奖学金来到美国当研究生。杨,23岁,已取得了物理学硕士学位。他的父亲,杨武之,是一位数学家。杨是在数学和物理的薰陶中成长的。在他到美国的时候,他在数学和物理两方面都有充分的准备。事实上,他在芝加哥大学发现自己比其他研究生水平要高得多。当杨还在中国的时候,他读了本杰明·富兰克林(Benjamin Franklin)的自传。作为一个人,作为一个科学家,富兰克林都给杨留下了深刻的印象。因此,当他要来美国的时候,杨决定要取名富兰克林。因为他不喜欢本杰明这个名,他给自己取名富兰克林,或富兰克,在芝加哥大学的研究生们都这样称呼他,现在物理学家非正式地称他为富兰克。物理学家亲切地把李称作“T.D.”(政道英文拼音的第一个字母)。杨经由印度、苏伊士运河、大西洋,于1945年11月到达纽约。他当时已是费米的崇拜者,猜想费米仍在哥伦比亚。费米在他因原子弹工程而被调往洛斯·阿拉莫斯(Los Alamos)之前,一直是哥伦

比亚大学的教授。杨直接到了哥伦比亚大学的普平(Pupin)实验室,想见一见在那里讲课的费米。杨曾追忆过当时的情形:“我记得有一天,在刚刚到达纽约之后,我立刻来到哥伦比亚,登上了普平实验室的第八层去打听费米教授是不是就要在这里讲课。秘书们十分茫然地看着我。我才知道,传闻要在芝加哥建立一个研究所,费米要去那里工作。于是我就去了芝加哥,在大学里登记注册。但是,直到1946年1月我亲眼目睹费米开始讲课时我才确信无疑。”大致可以说,不久杨便成了费米的助手。有些时候,费米出差,他便代课。杨得到了中美庚款奖学金的资助,这是他在中国通过全国考试得到的。中美庚款奖学金的来历很有意思,杨在获得诺贝尔奖金的宴会上曾简要地说过:

“尊敬的陛下、尊敬的殿下,女士们、先生们!

“首先,请允许我感谢诺贝尔基金会和瑞典科学院,由于他们的亲切款待,杨夫人和我过得极其愉快。我还特别要感谢卡琮(Karlgren)教授,听了他用中文说的引述和一段话,我感到心中格外温暖。

“颁发诺贝尔奖金的制度开始于1901年,在这同一年里,另一个具有历史重要性的大事件发生了。凑巧,这个事件对于我个人的生活历程有决定性的影响,并对于我现在出席1957年度的诺贝尔贺宴是有关联的。借着您的允许,我想花几分钟就这件事说几句。

“在上一世纪下半叶,西方文化和经济体系扩张影响的冲击给中国人带来了剧烈的矛盾和冲突。人们激烈辩论的问题是:中国应当在多大程度上引进西方文化。然而,在答案得出之前,理智被感情所压倒,在18世纪90年代兴起了在中国称之为义和团的民团,在英语里称作Boxers,他们声称能赤身抵挡现代武器的攻击。他们对于在中国的西方人所采取的愚昧无知的行动促成了1900年许多欧洲国家和美国的军队进占北京,这个事件被称之为义和

团战争。其特点是双方的野蛮的屠杀和可耻的掠夺。归根结底，这个事件起因于骄傲的中国人的愤怒的感情：他们遭受着外来的日益加重的压榨和内部的腐化与堕落。同时，这个事件在历史上可被看做是加速地解决了中国应当在多大程度上引进西方文化的这场大辩论。

“这个战争在1901年结束，当时签订了一个条约，条约中的一项规定，中国要赔偿列强总数为五亿盎司的白银，这在当时是一个惊人的数目。大约10年后，以一个典型的美国姿态，美国决定把赔款总数中其分享的部分归还中国。这笔钱用来建立了一项基金，创建一座大学，即清华大学；另外还设立了留美研究生奖金。我是这两个项目的直接受益者。我成长在一个与世隔绝的、学院气氛浓郁的大学校园里，我的父亲是这所学校的一位教授，我享受着宁静的童年。这一切，与我同时代的大多数中国青少年不幸是享受不到的。后来，就在清华大学里，我接受了出色的头二年的研究生教育。而后，又得到留美研究生奖金的资助到美国继续我的学业。

“今天，我站在这儿向你们叙述这一切时，我以沉重的心情体会到这一事实：从不只一层意义上说，我是中国和西方两种文化共同的产物，二者既有冲突，也有协调。我想说，我既为我的中国根源和背景感到骄傲，也为我献身于现代科学而感到满意，现代科学是人类文明起源于西方的一部分——对于它，我将继续奉献我的努力。”②

政道是走另一条路来到芝加哥的。他出生在上海，是一位商人六个孩子中的第三个。战争打断了他受的教育。1945年他去了昆明，被录取进了西南联合大学。杨振宁当时已经取得了他的

② 译者注：杨振宁的这段讲话的译文摘录自《杨振宁文集》，华东师范大学出版社，第76页～77页。

硕士学位。李和杨那时只有点头之交，在来芝加哥之前，实际上互相并不了解。在昆明，李受教于中国著名物理学家吴大猷教授。吴教授现在加拿大渥太华国家研究中心工作。他是广东人，1933年在密歇根大学获得博士学位，然后回到中国教书。战后他重新回到美国，带着两个研究生从事研究工作。其中之一就是李政道。当时，李大学还没毕业。吴的选择极具远见。在吴稍后写给他在密歇根大学时的老师、现在在布鲁克海文实验室工作的高德斯密特教授(S. Goudsmit)的信中写到李政道时说："李在中国只念了三年大学，但他是一个非常聪明的孩子。思想敏捷，看法尖锐，工作勤奋。如果好好引导他，我相信他能成为一个出色的物理学家。"回头看来，对李的这番描述并没有言过其实。当李到达美国时，他得悉芝加哥大学是惟一一所大学允许没有大学学位的学生去读博士学位的。所以他就在芝加哥大学注了册。

这样，在1946年，富兰克和政道一起住进了芝加哥大学的国际学生宿舍。他们最早的一次合作并没有做物理学方面的研究。那是芝加哥的一家报纸举行的字谜竞赛活动。字谜是类似联字猜想。第一名的奖金大约要超过五万美元。这个数目极具吸引力。于是他们便取得了另外几位研究生的帮助去参加这一竞赛。竞赛的参加者之一是咖温博士(R. L. Garwin)。他当时在费米指导下从事实验物理工作，现在是IBM公司的华生实验室(Watson Laboratory)的副主任、哥伦比亚大学的物理学教授。他后来在1957年宇称实验中发挥了重要作用。参加竞赛的报名费约现金8美元。他们这个小组后来又花了四十美元买了两卷未删节的韦伯新国际字典，因为它是此次竞赛的正式指定字典。他们正确地解答了第一组难题，进入"加赛"难题。他们彻底研究了"加赛"，发现了竞赛规则中有一个模棱两可的地方，提出了两组解，各解一组。几天后，他们气愤地得知，他们因为提出了过多的解而丧失了竞赛的资格，虽然他们比获奖者多若干分，但是毫无用处。

这时,杨和李已开始认真地讨论物理问题。在这一段时间里,李向杨学习了许多物理学知识,因为杨比李搞物理要早三到四年。在芝加哥大学,一般说来研究生都尽量自己教育自己,或者互相帮助。大学里设有各种课程,但是大家认为要深入学习就不能太依靠它们。当学生感到自己已经准备好了,便去参加严格的考试去获取准于撰写博士论文的许可,一般在一位教授的指导下准备论文。李于1948年通过了考试。他在费米指导下写了有关天体物理的论文(有关白矮星的理论)。杨是在爱德华·泰勒教授(Edward Teller)的指导下研究核反应问题。杨于1948年获得了他的博士学位。李是在1950年。他们第一篇合作写的论文发表在1949年。合作者还有当时芝加哥大学的一位研究生罗森布鲁斯(M. Rosenbluth)。他现在是加州大学拉霍亚(La Jolla)分校教授,通用原子公司的研究物理学者。在芝加哥的几年里,杨和李听了一系列费米为某些研究生开的非正式的夜间讲座。费米总是带着一大堆笔记,里面写的是他对于有关物理学很广泛的问题的见解。晚间讲课,要么费米或者一位学生提出一个讨论的题目,然后从笔记里去寻找,费米总是能在里面找到他要提出的有关见解。他的讨论总是带有基本和直觉的色彩,十分着重简明的原理,作为数学推导的基础。讲座的高质量和多样性给这两位年轻人留下了深刻的印象。杨写道:“我们了解到,物理学并不只是专家的事;物理学要从基础建起,一块砖一块砖,一层又一层地建造。我们了解到抽象概念是来自详尽的基础工作之后,而不是在先。我们还从这些课中学习到,费米不厌恶计算,而喜欢用台式计算器进行简单的数字计算。”

1950年,李到加州大学伯克利分校物理系任讲师。前此一年,杨去普林斯顿高等研究院工作,1952年成为该研究院的永久工作人员。通常该研究院大约有一百位是临时工作人员,而只有二十位永久工作人员,后者来自各个学科,只有五位是物理学家。

李和杨一块在这个研究院工作了两年，即从1951到1953年，之后李在哥伦比亚大学得到了一个职位。纽约和普林斯顿之间的距离不远，他们制订了一个计划，每周互访一次。在他们互访时讨论当前物理学中看来重要的问题。1953年，杨开始在布鲁克海文实验室过夏天。每年，该实验室都举行非常活跃的暑期讨论会。来自全世界各地的访问学者在办公室或者在实验室和附近海滩进行讨论。布鲁克海文实验室的夏天给分隔各地的物理学家提供了一个见面并讨论共同感兴趣的问题的机会。许多非常好的物理思想都源出于暑期讨论会，有一些就是在海滩上产生的。1956年，杨在4月回到布鲁克海文，于是他和李就在厄普顿或纽约之间互相访问。在此之前，他们的研究方向各不相同，但是现在他们两人都在研究同一个问题，到6月份李便到布鲁克海文与杨一起工作。

那年春天，杨和李全神灌注的是“$\theta-\tau$之谜”。它使研究基本粒子的物理学家感到迷惑不解。基本粒子是构成所有物质的基材。大体说来，从希腊人直到1911年恩内斯特·卢瑟福(Ernest Rutherford)发现原子核之前，几乎每一个人都认为原子是基本的粒子；事实上，“原子”这个词的意思是“不可分割的”。1911年以后，人们发现原子是可以分割的，里面是质量很重的叫原子核的东西，外面是很松散的带电荷的东西，现在人们称它为电子云。最初，人们认为原子核是由质子和电子组成的。质子是相对较重，带正电荷的粒子，原子核的质量主要就是它的质量。然而，认为电子是存在于原子核内部的看法是站不住脚的。随后，1932年查得维克(J. Chadwick)发现了中子，它是质量较重的质子的电中性的伙伴，并且弄清楚了，原子核实际上是由质子和中子组成的。同样，在1932年位于帕萨迪那的加州理工学院的安德森(C.D. Anderson)证实了一项由英国理论物理学家狄拉克(P.A. Dirac)提出的光辉理论预言，发现了电子的带正电荷的伙伴，名叫正电子。电子和正电子是通过在实验室做实验而找到的第一个粒子和反粒子对的例

子。现在大家知道,每一种粒子都有一个反粒子,质量相等。当二者碰到一起时它们就互相湮灭,变成各种类型的能量。这种湮灭就是爱因斯坦发现的质量和能量是等价的,$E = mc^2$ 这一公式的一个证明。在1932年年底,已经知道有五种基本粒子,这第五种就是光子,光就是由它组成的(某些粒子,如光子,它们的反粒子和它完全相同)。现在已知的基本粒子有三十到五十种。这多少取决于人们对“基本”一词的理解,一点也不清楚这个名单是否已经是完全的了。许多基本粒子是在战后发现的。主要原因是实验技术的不断改善。像AGS这样的大加速器建造起来了,加速器的能量增加到能够产生质量越来越大的粒子。安德森是在宇宙线实验中发现了正电子。宇宙线是指从外空间来的小数量的天然辐射(光子除外)。显然,对实验物理学家来说,用加速器产生的某种想要的粒子流来做实验,这比坐等偶然从宇宙线中来的一个粒子的效率要大得多。当然,安德森事先并不知道他就会发现正电子,宇宙线是一种发现未知粒子的丰富源泉。

在50年代中期,发现了一批全新的基本粒子。任何理论对它们都未曾预言过;但这些粒子就是在那里存在着。因此,就叫这些粒子为“奇异粒子”。研究这些奇异粒子就成了当代物理学的一个最活跃的分支。第一批奇异粒子是在1947年在宇宙线中发现的。英国物理学家罗彻斯特(G.D.Rochester)和波特勒(C.C.Butler)在云室里观察到了它的轨迹。但奇异粒子和通常物质之间的联系实际上是非常少的。通常的物质是由质子、中子和电子组成的。然而,当物质被高能量的粒子,譬如质子来轰击时,奇异粒子就在撞出的碎片中产生了。由于在碰撞中一次又一次地产生同一种奇特的东西,这个事实使物理学家相信这些东西一定是存在的。实验物理学家看一张粒子碰撞的照片,就可以按照轨迹的不同告诉你产生了哪一种粒子。他通常已经成十上百次观察到了这些相同的轨迹了。

θ介子和τ介子是，或者至少看起来是两种奇异粒子。它们同时自发地衰变——就是分裂——为比较熟悉的粒子，叫π介子，或者简称为π子。令人迷惑不解的是，θ和τ具有明显相同的性质，特别是质量和寿命，但是其中之一，θ衰变成两个π介子，另一个，τ则衰变成三个π介子。在自然界会存在这么两种如此相似的粒子，而仅仅衰变的情况不同。这是非常奇怪的。如果假设一种粒子有两种衰变方式似乎更合理。事实上，物理学家们是乐意看到θ和τ是同一粒子。但是，现在在芝加哥大学工作的澳大利亚物理学家达立兹博士(R.H.Dalitz)在1954年~1955年详尽地分析了τ衰变，看起来上述想法是不可能的。达立兹的分析根据当时都接受的物理学原理。其中之一就是叫做宇称守恒定律。这个定律在当时看起来是一条十分确定的定律，是不会轻易改变的。在达立兹的分析指出这里有问题后，许多物理学家，包括杨和李都去研究它。最初，有希望证实θ和τ的质量稍有差别。这样就可以较为简单地去解释这两种衰变方式。但在1955年的秋冬，对θ和τ的质量的测量越来越精细，结果越来越证明了在实验允许的误差范围内，θ和τ的质量是完全相同的。这样，任何一种简单的解释都不能成立。1956年春，物理学家就很明确地认识到他们面临着一个名符其实的佯谬。

那年4月，当第六届罗彻斯特高能核物理年会在纽约州北部罗彻斯特大学举行的时候，在会议日程上，$\theta-\tau$之谜列为重要议题跃然纸上。在会议中，提出了许多解决这一难题的建议，但是都不能令人满意。在杨对奇异粒子的讨论做了一个小结之后，有一段时间讨论。讨论的纪要中有一段值得一提：

“杨感到，只要我们对于$\theta-\tau$的简并还不太清楚，我们对于这个问题最好思想开放。沿着这开放的思路，费曼(Feynman)代波洛克(Block)提出了问题：是不是θ和τ是同一粒子的不同宇称态，这一粒子没有确定的宇称；也就是说，宇称是不守恒的？这就是说，

自然界是不是有一种明确确定右手或左手宇称的途径？杨指出，他和李研究过这一问题，但未得到任何确定结论。……因此，或许存在一种粒子具有两种宇称。……或许可以说宇称守恒……是可以被破坏的。可能弱相互作用都是来自这同一来源，即空间—时间对称的破坏。"

会议进行了更多讨论和猜测。最后，就在会议结束之前，奥本海默教授(J. Robert Oppenheimer)担任主席，指出："事情很清楚，τ介子要么具有内部的要么具有外部的复杂性。"这是一个预言。

那时，总的感觉是迷惑和挫折。杨后来写道："那时物理学家的处境就好比一个人在一间黑屋子里摸索出口。他知道，在某一个方向一定有一个门能让他从困境中出去。但是在哪个方向呢？"他和李回去后就开始工作。最后，没有别的出路，他们决定要对宇称守恒的实验基础进行细致的研究。出人意外，这确实让他们找到了从黑屋子里出去的门。

什么是宇称守恒，为什么物理学家们如此不情愿去怀疑它？宇称守恒，或者有些时候称它为镜像对称，是一个物理系统和它镜子里的形象的对称。大家都知道，当一个物体在镜中显现的时候，镜子就把它的右变成左，反过来也是一样。在物理学中，一切经验，直到认识$\theta-\tau$之谜之前，看来都显示，一个物理系统的行为和它的镜像的完全一致，都遵从同样的定律。这种一个物理系统的行为和它的镜像的完全一致，叫做镜像对称。然而，用复杂的数学推理，可以证明，如果θ和τ是同一粒子，这就意味着在描述它们的衰变时要抛弃镜像对称。也就是说，要抛弃宇称守恒定律。杨在他获诺贝尔奖金的致词中试图去解释一下这一规律的某些内涵。他说：

"对称原理之一，即左右对称，是与人类文明一样古老的观念。自然界是否具有这样一种对称性，过去的哲学家们一直争论不休。当然，在日常生活中，左右是明显可分的。例如，我们的心脏处在

身体左侧。我们的语言甚至还有这样的内涵:不论在东方还是西方,右边都意味着美好,而左边意味着邪恶。然而,物理定律过去却一直显示出左右之间的完全对称性。日常生活中的不对称性被归咎于周围环境或有机生命体初始条件的偶然的不对称性。为了再进一步解释这一点,假定存在这样一个镜中人,他的心脏在身体的右侧,其他内脏也处在同我们相反的一侧,而构成他身体的分子(例如糖分子)也是我们身体分子的镜像,再假定他所吃的食物也是我们所吃食物的镜像,那么,按照过去的物理定律,他的身体机能就应该和我们的完全一样有效地进行。”

1956 年李和杨给他们自己提出的问题是,我们怎样知道这一定律是对的? 他们的发现使他们大为惊奇。过去实验所证实的这一定律,只适用于强相互作用力,也就是把原子核聚在一起的那种作用力,以及起化学反应的那种作用力;没有任何一个实验去检验这一定律对弱作用力究竟如何,例如那种让 θ 和 τ 粒子,或者让众所周知的放射性同位素进行衰变的力。有许多有关弱作用力的实验,但是没有一个(有一个非常的例外,当时李和杨以及大多数物理学家都还不知道)是与宇称守恒问题有关的。杨曾描述过当时他们对这一问题的见解的感受:“事实上,关于在弱作用中宇称守恒,在没有实验支持的情况下,为人们长期相信,这是令人吃惊的。但是更令人吃惊的是,物理学家所熟知的空间—时间对称定律很可能要被破坏掉。这一前景我们过去没有想过,而是在做各式各样的努力去解 $\theta-\tau$ 之谜遭受失败之后强迫我们得到这一结论的。”

回顾过去,像李和杨做出的发现,看起来容易,但对发现者来说就不一样了。最近我和杨讨论了这一问题。他试着描述了一个人在这种情况下的心理过程。他说,当一个人处理像 $\theta-\tau$ 之谜这样的问题时,因为他还没有一点概念到哪里去寻找答案,因而要集中到任何一个单独的途径上是困难的。一旦当他有了解决问题的

思路,他就可以集中他的全部努力去把它攻克。但是在这之前,一个人的思想会东一榔子西一棒子,没有任何明确的目标。杨已记不准他和李要去检验过去有关弱作用实验的想法是怎样得来的了。但是他却记得是什么时候、在什么地方。那是五月初,他刚刚驾车从厄普敦到纽约访问李。他把李从哥伦比亚大学的办公室接上车,但在哥伦比亚大学附近很难找到一个停车的地方。他和李一边驾着车到处找停车位置,一边谈话。他们终于把车暂时停在靠近125街和百老汇街交叉角的一个中国餐馆前面。餐馆还未开门。他们便去附近的白玫瑰咖啡馆。他们坐下,开始讨论。这时,他们忽然有一想法。突然,他们明白了,应该去检查一个又一个弱作用实验的结果,去看一看有没有任何有关宇称不守恒的信息。

这样,杨和李一连三个星期进行了紧张的工作,杨在布鲁克海文,李在哥伦比亚。他们的方法是对一个一定的实验,允许宇称可以不守恒,做出有关它的理论计算。举例说,他们计算了各种弱衰变过程的衰变率。在这些衰变率的数学公式中,那些可能反映宇称不守恒的项正好都被消除掉。这样,测量衰变率的实验,不管它是做得多么好,没有一个能够反映出宇称不守恒的效应。如此继续检验所有在1956年前做的其他有关实验。几周里,他们没能找到一个指导性的原则,使他们能够在做详细的计算前说出,哪个实验会对宇称不守恒灵敏,哪个实验不灵敏。6月初,他们发现如何去做这件事。随后就比较简明地列出了一些实验名单,原则上这些实验可以指出宇称守恒被破坏的效应。

6月下旬,杨和李在布鲁克海文写了一篇论文:《弱相互作用中的宇称守恒质疑》,现在这篇论文成了经典。在开头部分,论文总结了当时的情况,被视作科学论文的典范。文章写着:

“最近,实验显示θ和τ介子的质量和寿命几乎完全一样。另一方面,基于角动量和宇称守恒,对τ^+的衰变产物的分析强烈建议τ^+和θ^+是不同的粒子,这就形成了一个相当令人迷惑的局面,

并引起了广泛的讨论。

"摆脱这种困境的一种方法是,假定宇称不严格守恒,θ^+ 和 τ^+ 是同一粒子的两种不同的衰变模式,它们的质量和寿命就必须相同。在本文中,我们想在已有的宇称守恒的实验证据的基础上分析这种可能性。我们的分析清楚显示,在强作用和电磁作用中,现有的实验以很高的精确度表明宇称守恒;但是,对弱相互作用(即,介子和超子的衰变作用和各种费米相互作用③)宇称守恒至今仍只是外推的假设,并没有实验证据的支持。(人们甚至可以说,现在的 $\theta-\tau$ 之谜也许可以视为弱作用中宇称守恒破坏的迹象。但是,这个论点没有被认真对待,因为,我们目前对于奇异粒子的性质了解得太少。倒不如说,这提供了一个检验宇称守恒问题的动机。)要明确地认定宇称在弱作用中是否守恒,我们必须通过实验确定弱作用能否分出右和左。下面将讨论一些可能的这类实验。"在论文的其余部分,他们给出了需要做的实验的详细介绍。

在让实验物理学家们去做工作之前,李和杨除了等待之外不能做什么事。就在他们等待的时候,他们就在布鲁克海文实验室,在物理学的一个完全不同的分支——统计力学方面开始工作。统计力学是研究一种系统,诸如气体,它是由数目非常巨大的粒子组成的。为了描述这种系统,人们不去试图描述某单个原子或分子的行为,而是尝试做出大量粒子的统计理论。这是物理学很有兴趣的一支,而李和杨在不同时期曾为它做出过重要的贡献。在这一等待期间留下了一份奇妙的文件,这就是李在布鲁克海文的草稿本的一页。另一位在该实验室工作的物理学者发现了这一页,决定把它留作纪念,而且在下一年秋冬季发生的令人激动的事情之后,登在1957年12月的《今日物理》杂志的封面上,这个杂志是由美国物理学会出版的行业杂志。在这一页上李整齐地写满了符

③ 作者 Bernstein 注:费米于1934年提出了关于弱衰变的基本理论。

号和公式，偶尔可见墨水的污渍。有趣的是它的内容。大约有一半公式是有关统计力学的，而另一半是有关弱相互作用以及宇称不守恒的。对于理论物理学家，在实验物理学家进行测量的时候，只能等待和即兴随写，而李就是在等待和即兴随写。

我想这样说是公正的，在 1956 年夏天和秋天，多数物理学家认为宇称不守恒的可能性很小。他们觉得，如果真有不守恒的效应，也是非常之小的。杨和李在他们的论文中提出来的观点是无可置疑的。但很难理解，为什么单单弱作用不具有守恒的宇称(顺便提一下，现在这还是很难理解的)。在那些接受挑战的实验物理学家小组中，有一个组是哥伦比亚大学—国家标准局的合作小组。他们认为，即使预期得到最大成果的几率很小，按照物理学的优秀传统，用实验去检验一个普适的原理永远是必须做的。因此，他们全力以赴去做这项实验。在参加这项实验的物理学家中，有一位与杨和李有密切的工作关系，那就是吴健雄女士，哥伦比亚大学教授。吴女士(袁家骝的夫人)，与李和杨一样，出生在中国。她的科学事业也跟他们一样，是在美国进行的。她是他们两位的老朋友，也是李在哥伦比亚大学的同事。她由于做了极为精确的弱相互作用实验而闻名世界。正是她组织了与华盛顿国家标准局一批实验学家的合作，后者都是极低温技术的专家。实验中需要这种技术。实验论文最后完成的时候，在上面署名的有：吴女士，代表哥伦比亚大学；安布勒(E. Ambler)，海沃德(R. W. Hayward)，霍普斯(D. D. Hoppes)，赫德逊(R. P. Hudson)，代表标准局。与哥伦比亚大学—标准局实验几乎同时，芝加哥大学的一个小组，在泰勒格第教授(V. L. Telegdi)的领导下开始按李和杨在他们论文中建议的另一个方案做实验。12 月，哥伦比亚大学—标准局的实验数据明显地显示，在弱相互作用中宇称是不守恒的。这个小组是由极出色的、也是十分严谨的实验学家组成的，他们意识到他们可能正处在 20 世纪物理学的一项重大发现的边缘。他们非常想在发表他们的结果

之前，确定他们所做的每一件事都是极为正确的。同时，杨和李差不多每天都与吴女士保持着接触，而实验数据的积累使他们相信宇称守恒是不存在的。

1 月 4 日，星期五，哥伦比亚大学的物理学家们聚集在一起共进“中国午餐”。“中国午餐”是哥伦比亚大学物理系自 1953 年李来到之后开始的一个传统做法（即使他不在时，他们也是这样做）。星期五是各个系举行学术讲座的日子，这种午餐会通常是在星期五在哥伦比亚大学附近几家好的中餐馆中的一家中举行，点十或十一道菜。李是一位美食家（这可能是由于他在二战期间在难民营里呆过。他在那里一年只有米饭和辣椒）。所以，他在哥伦比亚大学时，总是由他点菜。在这个具有特别意义的星期五，李带来了重要的消息，他刚从吴女士那里得知，看来大概有把握说，哥伦比亚大学—标准局的实验证明宇称是不守恒的。他介绍了他和杨的思路。哥伦比亚大学的一位实验物理学家莱德曼（L. Lederman）教授也是周五中国午餐的积极分子。他在那时正在研究另外一种弱衰变，即 π 介子衰变。π 介子衰变成另外的介子，μ 子，后者又衰变成一个电子和两个中微子（中微子是一种没有质量的粒子。许多弱衰变都放出中微子。它与一般的物质的作用非常弱，直到 1953 年两位洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）的科学家莱纳斯（F. Reines）和科万（C. L. Cowan Jr.）在汉福德（Hanford）完成他们的美妙实验之前，中微子与物质的作用事实上没有被观察到过。）莱德曼想到，如果宇称是不守恒的，他可以设计一个实验，如果运气好的话，可以证明在两种衰变中宇称都是不守恒的。那天晚上 21 时，他与伽温博士联系，伽温那时起就在哥伦比亚大学工作。他们两人便开始研究这一问题。22 时 15 分，他们想出如何去做这一实验。凌晨二时，便开始在哥伦比亚大学的加速器上取数据。事实上，他们认为已经看到了他们想看的现象，但在当时，设备中的一个部件烧了。周末便用来修复损坏（伽温使他的同伴吃惊，竟能自己动手在

车间用车床把新的部件做好)。星期一下午实验设备又运转起来。在星期二清晨,他们的实验毫无疑问地证明了宇称守恒在弱相互作用中是不存在的。星期二上午6时,莱德曼打电话给李,宣布了这一消息。这是当时物理学家们之间很多这样的电话中的第一个。我想并不言过其实,如果说,到这一周的周末,美国每一位活跃在高能物理研究的物理学家,都听到了有关实验的情况。我记得,在星期三或星期四,我和一组物理学家在哈佛大学讨论一个从国家标准局传出的传闻(我们与这些实验组的任何一组没有直接的接触)。施温格教授(Julian Schwinger)是哈佛大学的首席理论物理学家,劝告我们,在最后的结果未知晓前,不要轻易地去做结论。接着,一个电话打来。来自哥伦比亚大学的拉比教授(I. I. Rabi),告诉了他最后的结果。施温格回来就说:“先生们,我要向大自然致敬!”

接下来1月15日,星期二,哥伦比亚大学物理系做了一件没有先例的事:为这一新发现举行了一次新闻发布会。拉比说道:“在某种意义上,一个相当完整的理论结构已从根本上被打碎,我们不知道这些碎片将来如何能再聚在一起。”这是一个清楚的宣告。于是宇称不守恒现在就正式被承认了。次日,《纽约时报》写了一篇编辑部文章,标题是《外表与真实》。文中解释了这项实验的巨大重要性。文章最后的一段话实在使现在在基本粒子领域内工作的每一个人感到有讽刺的意味;因为理论与实验间的鸿沟,如果有的话,在多数领域里,从1957年起扩大了。《纽约时报》写道:“人们相信,这件事(宇称不守恒的发现)移开了通往建立一个关于构成物质宇宙的基本单元的统一理论的主要路障。理论会是什么样子,也许还要化上二十年时间,但是物理学家们现在感到有信心,他们至少从现在的‘宇宙丛林’里找到了一条出路。”

迟在1月17日,苏黎世理工学院(Eidgenossische Technische Hochschule)的泡利教授(Wolfgan Pauli)在一封给麻省理工学院韦

斯可夫(V.F.Weisskopf)的信中表达了他关于宇称不守恒的怀疑。泡利生于维也纳,是20世纪贡献极大的理论物理学家之一(他死于1958年),是已故物理学家中最尖锐的理论物理批评家之一;然而在1931年,就是他第一个提出了中微子的存在的假设,来解释当时存在的弱作用力中的神秘,牵涉到能量的守恒。弱作用力是物理学中新思想的金矿。另一位维也纳人,韦斯可夫,自从希特勒在德国上台后,就在美国作教授,现在是日内瓦欧洲核子研究中心(CERN)的主任,他是30年代泡利的得意门生,与他的老师一直保持着经常的通信联系。泡利写道:"我不相信,上帝是个弱的左撇子。我准备拿一大笔钱打赌,实验一定会得出对称的结果。"1月27日,在实验的结果到达苏黎世之后,泡利又写信给韦斯可夫,这封信或许比任何东西都深刻地反映出,宇称守恒的观点已是多么深地嵌入到物理学家们的头脑中了。他写道:"在第一次冲击过去之后,我开始整理自己的思想。是的,这是非常戏剧性的。在21日,星期一,我准备在晚20时做一个有关中微子理论的讲座。17时,我收到了三份实验报告(两份是哥伦比亚大学的,另一份是差不多同时完成的芝加哥大学的)。……我并没感到那么震惊,上帝可能是左撇子。然而,当他强烈地表现他自己时,他仍然是左右对称的。简言之,现在现实的问题看来就是:为什么强相互作用是右左对称的呢?"

美国物理学会每年的年会都在1月底,在秋春学季之间召开。学会日程上的题目事先都要公布出来。通常是物理学家当时最感兴趣的问题,每一位会员可以做十分钟的报告,但事先要把报告的摘要交给学会秘书,而那些做出特别出色工作的物理学家则被邀请做较长时间的报告。然而,如果回头看看1957年会议的日程,1月30日开幕,却完全没有关于宇称不守恒的内容;从1957年年会的日程看来,确实是十分一般的。宇称不守恒的题目之所以未被包括进日程,简单的原因是,所有的内容在11月底的时候就定下

来了,而那时不守恒的实验仍在进行之中。事实上,除此之外并没有别的原因。当会议开始的时候,第一批实验结果已经知晓。实验者们,和任何人一样,非常希望把实验结果公之于众。虽然传闻已经传开,而新闻发布会也在这之前不久开过,但是在其他领域工作的物理学家还没有了解到某些细节。此外,几乎每天还有新的结果出来。因此,就在会议的最后一天,星期六,组织了一次专门的会议,在纽约饭店举行,它创造了一个记录,大约有三千位物理学家参加。学会常务秘书达罗博士(Karl K. Darrow)通常都是用他的文学风格去处理较难表达的物理学会的公报。他写道:“正式注册的到会人数是3110人,接近了3206人的记录,那是由美国物理学协会(American Institute of Physics)和我们以及协会的其他基层学会的联合大会在一年前共同创造的。”达罗博士继续写道:“更令人吃惊的是,在专门报告在接受报告申请截止期后提交的论文的会议上,参加的人数创造了惊人的历史最高记录。会议期间,就在星期六下午,通常我们安排的那个最大的报告厅,被那么多听众占满,以致某些会员用尽除了把自己吊在吊灯上以外的方法挤在里面。这是因为黑板和谣传已把消息传开,说截止期后的几篇文章将要报导宇称不守恒的问题,而这一问题早在两周之前已经闯进了公众的视野。”这是一件大事。这次会议预定在两点钟召开,但在13时15分的时候,饭店的大厅已坐满物理学家。我在12时30分到达,带着我的午餐,找到了一个座位。李并不那么幸运,过了好一会,看来他连报告厅都根本没法进去。这时,某些物理学家认出了他,让开了路。杨、莱德曼、泰勒格第(Telegdi)和吴女士发了言。有一些实验数据很新,在图表上,点和曲线只是很粗略地画上。推翻宇称守恒的证据就这样集中在这一个地方,在这么一间报告厅里被描绘出来,绝对令人信服,使人得到一种见证的感觉。科学的历史转折点就在这里。会议中间没有可能提问,之后在饭店前厅,我瞥见李和杨一眼,他们被热心的物理学家们团团包围,

都想得到更多的信息。

在新的实验结果激励下，李和杨把统计力学完全放下，而去研究事情会进一步发展成为什么样子。从1月份起，这方面的工作进展迅速，整整一年他们没有一个人再提出有关统计力学的任何想法。有一次李曾对我说起过，那年冬天，他有了一次奇特的经历，他和杨被邀参加一次统计力学的会议。在霍波肯(Hoboken)斯涕汶学院(Stevens College in Hoboken)。其间，韦斯可夫问了李一个有关公式的问题，公式是由李和杨推导出来的。李说，他竭力回想，但还是一点也想不起来这个公式。正如他说："什么印象都没有了。"那时，他和杨完全投入了弱相互作用的研究，关于统计力学的想法都消失了。事实上，在那场在截止期后提交的论文的专场会议之后，物理学家都承认宇称守恒是不对的了，在物理学界，人们了解了所发生的事情，也就不会再有另外的想法了。

物理学会在复活节假期里举行的春季会议开会时，"宇称"已是一个被公认的领域。这次会议，日程上安排了一次宇称研讨会，发言人是李、吴女士、伽温、泰勒格第和克劳(K.M.Crowe)。克劳的名字被加在发言人的名单里是很有趣的，因为他是来自斯坦福大学，他的名字的出现说明，在1957年春天美国各主要实验室，以及其他地方的实验室，都在努力地做宇称和弱相互作用的实验工作。李指出："这是一个雪崩效应。"一旦发现宇称在某些弱衰变中被破坏，很明显，所有的弱衰变都要从这个观点出发去研究。因此，各种规模的实验室都有工作可做。像伯克莱(Berkeley)和布鲁克海文实验室，它们有加速器，能够产生奇异粒子，通过它们的衰变研究宇称不守恒；而那些习惯于用通常的放射性同位素的，则去研究放射衰变中的宇称不守恒问题。接下去的几个月，对物理学来说是愉快而富有成果的时期。1957年10月，李和杨被授予诺贝尔奖。在下一次纽约物理学会时，也就是1958年1月，不光知道，而且确信无疑，宇称在所有确定的弱衰变中都是不守恒的。1955

年达立兹文章中关于 $\theta-\tau$ 之谜的第一点细微的墨迹现在变成了丰硕的成果。

有关宇称的故事,值得一提的趣闻是由随后在布鲁克海文实验室工作的物理学家格劳金斯博士(L. Grodzins)最近提供的。他在翻阅某些较老的物理学文献时,发现实际上早在 1928 年,在一项用放射性同位素做的实验中就已经观测到了宇称不守恒的效应。那年,三位在纽约大学工作的美国物理学家考克斯(R. T. Cox),马克阿埃拉斯(C. G. McIlwraith)和库瑞梅耶(B. Kurrelmeyer)在他们有关镭衰变的一种放射性同位素的衰变数据中发现了一种效应,用今天的概念说,就是很清楚的宇称守恒的破坏。之后,考克斯的一位学生查斯(C. T. Chase)沿着这个线索进行了进一步的实验,但是使用了改进的技术。在 1930 年,他得出了结论,"*不仅是在每一轮实验,而甚至每一轮的所有实验数据,除少数例外,都表现出了这个效应。*"然而,那时,弱相互作用的研究是处在初期,没有理论需要这些结果。事实上,也就是早在 1927 年,匈牙利出生的物理学家维格勒(Eugene Wigner,现在是普林斯顿大学的教授)提出了第一个在量子理论里有关宇称守恒的真正的数学公式。因而,这些实验结果没能去挑战一个已建立的、充分理解的理论。倒不如说,他们就像在真空中的宣言。只是在实验和理论物理各分支进行了几近三十年透彻的研究之后,最重要的,有了李和杨的工作,才使物理学家能够准确地理解那些早期实验的意义。

所有这一切,对物理学来说意味着什么呢?现在还是有问题,但是某些事情已经清楚。在哥伦比亚—国家标准局的实验里,所发现不仅只是宇称不守恒。另一个长久以来公认的原理,物理学家称之为"电荷共轭不变性"的原理也被证明不能成立。"电荷共轭不变性"是关于粒子变为反粒子的数学运算,例如,电子变成正电子。直到 1957 年,物理学家还相信,譬如说,一个由反物质构成的星系,其所有的物理特性(如光发射)与正物质构成的星系完全

一样。如果这两个星系相撞，物质和反物质就互相湮灭成辐射（这样的过程已经多次在实验室中小规模地被观察到）。然而，当物质和反物质分开时，某个从星系外观察这两个星系的人说不出哪个是哪个。人们就是这样相信的。新的实验证明这是不正确的。原则上，弱作用力可以区分粒子和反粒子。这是一个原先想不到的结果，而也不是由 $\theta-\tau$ 之谜所提出的。在这两个看来已经十分确定的对称原理被推翻后，问题是：弱作用力是不是完全不能显示出一点对称？实际上，在 1956 年的夏天，杨和李曾设想过一种可能性，在同一个时间可以有多于一个的对称被弱作用力所破坏。他们的这种想法是受到了欧米（Reinhard Oehme）给他们的一封信的启发而产生的，欧米是芝加哥大学的一位理论学家。他提出的问题是，在李和杨的第一篇论文中的某些概念是否可以在更普遍的情况下来考虑。在较深入地研究了这一问题之后，李和杨推测，原则上是可以想像有一种状态，如果首先用系统的镜像替代它（即宇称变换 P），随之又用它们的反粒子替代正粒子（即电荷共轭变换 C），或者先做 C 变换，再做 P 变换，至今所有的实验数据似乎都表明这一系统是守恒的。弱作用分别地破坏宇称和电荷共轭，但是这两种对称变换在一起，即两者的乘积 CP，CP 对称在所有的过程里都是守恒的。C 和 P 仅在强作用中，如核力，分别是守恒的。正如泡利在 1957 年清楚地预见到的那样，对称性跟强作用力或弱作用力的关系已成为一个主要的理论问题，但是至今为了解决这个问题所取得的进展还是太少。

在宇称之年显现出来的另一项十分重要的结果是中微子理论的澄清和简化。泡利假定这个粒子的存在是为了拯救弱作用过程中的能量守恒理论。1929 年，以故韦尔教授（H. Weyl），德国出生的数学家和物理学家（他在 1933 年～1955 年在普林斯顿高等研究院工作）指出，已经有一个用在中微子上的极为简单和漂亮的数学理论，但就是要放弃宇称守恒。多年来，这个理论没被承认。在

1956年的发现出现后,这项理论被李和杨以及俄国学者朗道(L. Landau)和巴基斯坦学者萨拉姆(A. Salam)所复活,他们都是独立做的工作。现在这项理论通过了所有为此而做的实验的检验,于是成为大家都接受的中微子的数学描述。韦尔有一次亲自对戴森教授(F.J.Dysan)(另一位高等研究院的永久性成员)说,"我的工作一直是想把真实与漂亮的数学公式联系起来,当我要选择一个公式时我总是选择那个漂亮的。"遗憾的是,他在1955年9月9日去世,恰是在事情的发展复活了他的理论之前。由于1956和1957年的激动,许多在其他领域工作的物理学家的注意力都集中到弱相互作用的研究上去了。因此做出了许多重要的进展。但是,弱和强相互作用之间的关联依然像过去那样是个不解之谜。

纵然这一年是物理丰收之年,但是它并没有使李和杨的生活发生什么大的变化。1960年,李从哥伦比亚大学转到位于普林斯顿的高等研究院工作。他和杨现在的办公室相邻,合作更为方便。在这几年里他们曾一起研究过各种各样的问题。他们两人都是说中国话和英语两种语言,但当他们一起工作的时候,他们几乎总是说中国话。虽然有时他们不知道某个物理名词的中文说法,中国话中夹杂英语,弄得旁听的人莫明其妙;还有,有时他们说英文:"Oh,I see now(噢,是这样)。"作为一个物理学者,我曾多次无意中听到他们讨论工作的对话。如果谁的办公室靠近他们在普林斯顿或布鲁克海文的办公室,那不太可能听不到他们的讨论。他们做每一件事都十分热情,投入全部精力。他们感到极大愉快,互相比着进行计算,他们两位思维都极为敏捷,看他们或听他们讨论工作是一种既令人兴奋,而又有点跟不上的感受。

今天他们在普林斯顿与自己的家庭平静地生活着。每人都有一位可爱动人的妻子。杨的夫人,杜致礼,是他1945年在中国教书时的一位学生;李是在1948年遇到他的夫人秦惠箬的。当时秦正在芝加哥访问。李有两个儿子,一个九岁,一个五岁;杨有两个

儿子,一个十岁,一个三岁。还有一个女儿。他们想尽可能多地把他们丰富的中国传统传给他们的孩子们。尽管孩子们在摆满了珍贵的中国艺术品的家庭里长大,但当他们长大的时候,他们仍然强烈地倾向于美国儿童通常的兴趣。秦惠箬的父亲是一位画家,住在中国,李在普林斯顿的家中墙上挂的花、鸟画,都是他为他们画的。李非常喜爱中国艺术。他对艺术的热情,仅次于物理学,如果你真想了解李就要去听他谈论艺术,这会使你感到极大愉快。我特别记得,1961 年夏,我们在欧洲核子研究中心餐厅的一次讨论。那是在清晨,餐厅里几乎空无一人。李刚听说大都会博物馆就要举行一次中国博物馆若干收藏品的展览,那是 1948 到 1949 年从北京运到台湾去的。我对中国艺术的历史一无所知,于是他开始给我介绍。很快我的笔记本就记满了有关中国书法的重要年代和例子。当他讲话时,他很富表现力地使用他的双手(他和杨,在他们做计算时,如果没有黑板和纸笔,就用手指在空中写字;李告诉我,这是在战争时期养成的习惯,当时中国纸张非常缺乏)。而当他谈得越来越深入的时候,我们逐渐地吸引了一小批物理学者,大家从他那兴奋的表情上还以为他是在宣布一个新的发现呢。我们随后讨论了东方艺术的不同领域,并进行了争论,谈谈停停,几乎花了一天时间。杨也是一个钟情于中国艺术和中国哲学的人,偶然他也乐意做一些户外运动。他试过登山和滑雪。登山运动险些造成灾难。那是在 1952 年夏天,他在西雅图华盛顿大学访问,在那里登山。大学里的物理学家们许多都是有经验的登山者,他们说,杨天生的体质和平衡能力能使他成为一位出色的登山运动员;但在那次攀登中,小组里的一位成员,是位女士,在一个险峻的冰坡上滑倒,把杨也带着滑下去。幸运的是,他们被大学里知名的理论物理学家,一位熟练的登山者乌林(E. A. Uehling)拉住。这次事件未酿成大祸。

然而,说到底,杨和李是献身物理学的。当他们研究一个问题

时，他们昼夜不停地工作，没有时间去做别的事。普林斯顿的高等研究院是他们工作的极好地方，因为他们在那里没有教学任务，能够把任意多的时间用在研究工作上。一次又一次，他们在普林斯顿大学和其他地方做了许多专门的讲演。他们的讲演极为清晰，极具魅力。杨曾写过，他把费米讲演的风格直接用在他自己的讲演中，李也是这样。杨写："大家都知道，费米的讲演极为清晰。这是他的风格。每一个专题，他都是从头开始列举许多事例，尽量避免'公式主义'(他常嘲笑那些复杂的公式是'高级传教师'的)。他的论点极端简明给人以不费力的印象。但是这种印象是错误的。他的简明是充分准备的结果，也是仔细权衡各种不同表达方式的结果。"

像李和杨所做的那样水平的科研工作，要求相当强的自信。同时，所研究的问题本身就要求想要去解决问题的人极其谦虚。李在诺贝尔奖授奖仪式上也用同样的方式表达了在所研究的问题的复杂性和深刻性面前要具有的谦虚态度。这一仪式通常都是在盛大晚宴和舞会时达到高潮。瑞典几所大学的学生被邀请参加。按照惯例，应有一位获奖人对大学生们讲话。大学生们决定，因为李与他们的年龄很接近，要听李的讲话。李在事先未被告知，也没有十分确定要讲什么。随后，他想到一个有趣的中国寓言，他说：

"我想给你们讲一个小故事，是取自中国的小说'西游记'。讲的是一只猴子。这只猴子与其他猴子不同，是从石头里生出来的，因此他非常非常聪明。他自己碰巧对此也很清楚，于是整个故事就这样开始了。他雄心勃勃，自命不凡。开始他想当猴王。这一点他很容易就做到了。但是很快他就厌倦当猴子，甚至连猴王也不愿当了。现在他想当人了。经过年复一年地学人的习性，他穿得像人，说话像人，甚至，连他的外表都和人一样了。但是，他仍然不满足。现在他想学着当神仙了。他到了神山，经过了几百年又几百年的刻苦学习和研究，他学会了做神仙。事实上，他学到了很

大的魔法。譬如,他能一跳就走十万八千里。于是他要跳到天堂上去,而他只半跳就到了天堂。他要在那里当神仙。玉皇大帝开始不答应,但是这只猴子坚持不退让,玉皇大帝让步,封他当一个神仙,封号是'齐天大圣'。然而,这只猴子仍然不满意。这一次他不光想当神仙,还要当玉皇大帝。玉皇大帝没有办法,只好与猴子打仗,真打了。可是这只猴子把整个天兵都打败了。玉皇大帝的最后一着,只好向如来佛求救。如来佛来了。他告诉这猴子,要想当玉皇大帝,就要有一定的资格。如来佛张开他的手,对猴子说,'假如你要当玉皇大帝,你就要能跳进我的手掌,然后再跳出去'。猴子看着如来佛,他有大约30米高,心想,'我一跳能走十万八千里,这样做很容易就可以当上玉皇大帝了'。于是他就跳进了如来佛的手掌,然后跳了一大跳想跳出手掌。为了保险,他跳了又跳。在跳了百万又百万年之后,这猴子觉得有点累了。最后他跳到一个地方,有五根巨大粉红色的柱子。他想这可能就是宇宙的边界了,柱子说明宇宙大小有限。他感到非常高兴,就在中间那根柱子上涂写,'齐天大圣到此一游',他非常轻松,非常愉快,开始往回跳。跳了很长时间,他回到了开始跳的地方,于是他自豪地要求当玉皇大帝。这时如来佛用他的另一只手把这猴子提起来指着那只张开的手掌,指给他看,在它中指根部,有猴子写的几个非常细小的字'齐天大圣到此一游'。此后,在中国就有一个说法:'纵有千头六臂,也跳不出如来佛的手心。'

"我们研究知识,可能会做出很大的进展。但是我们要记住,即使到了如来佛手指根部,我们离绝对真理还是非常远的。"

物理学家对于基本粒子物理的未来的看法各不相同。某些人觉得,可能要过一百年才能达到下一次真正的突破。他们指出,在牛顿力学和量子力学之间有将近三百年的时间间隔,其间曾有过各种各样的数学和技术的发展;例如,用来描述量子理论的大多数数学直到19世纪才发展出来。其他一些物理学家有这样的看法,

20 世纪物理学的发展中发生的巨大加速，能够缩短突破之间的等待时间。现在在工作的物理学家的数目大概要比 1900 年前整个科学历史中的都多。自牛顿之后，相对论和量子力学这两项最伟大的概念的进步，发生在二十年之内，前者是在 1905 年，后者是在 20 年代后期。这种现象恐怕不是偶然的。

杨和李不断地思考着这一问题。为了解决这些问题，他们极乐意从极其深奥的东方智慧的源泉《易经》中探根求底。此书最早的版本的年代是公元前 2000 年。从此它一直在发展中，代代东方的学者们，继续不断地对它进行阐释。该书现在的版本大概包括了孔夫子所做的许多工作。他在公元前 400 年前就对它作了重大阐释。易经包含有一系列抽象的预言诗句，有些地方还有注释，书中文字都伴有数学符号。使用易经的人要提出一个问题，然后取三个金属硬币(更古老的传统，是用五十根白蓍草。把一根蓍草放在一旁不动，其余的就排列成极为复杂的形式，成为一种算卦的形式)。在过去，用的都是中国传统的中间有一个方孔的青铜币，但是在普林斯顿则用美国的各种零用硬币并设计了正背系统，正面为阴，数值为 2，背面为阳，数值是 3。掷过三个钱币之后，把所有的数值加起来，可以是 9、8、7 或 6。这些数字与书中的符号相应，这些符号包含有长的和短的线，排成六边形，一共有六十四种基本的形状，是了解预言的钥匙。通常，结果都是相当美好的，偶然也有一些令人吃惊的。李有一次告诉我：“一些预言有时会使你的思想改变到新的方向。”1959 年 11 月 26 日，他和杨查询易经，“在今后二十年里，基本粒子物理会不会有突破呢？”他们得到了以下部分答案：

渐。女归吉，利贞。

山上有木，渐；君子以居贤德，善俗。

鸿渐于陆，夫征不复，妇孕不育，凶；利御寇。

鸿渐于逵，其羽可用为仪，吉。

鸿渐于陵,妇三岁不孕,终莫之胜,吉。

1961 年 6 月 21 日佩斯教授(A. Pais),荷兰人,李和杨在高等研究院的同事,经过对占卜方法的仔细研究,查询易经,“存在着一个能把强、电磁和弱作用统一起来的原理吗?”他得到的部分答案是:

需,须也;

……

需有孚,光亨,贞吉。

……

利涉大川,往有功也。

……

云上于天,需;君子以饮食宴乐。

“注:当云彩在空中升起,那是要下雨的先兆。现在无所事事,只能等着下雨。与生活中的情形相似,只能由命运指使。在时机未成熟的时候,我们不能担忧并试图去干预事情的发展,去勾画未来。我们要静心地用食物、饮料增强体魄,用欢乐和愉快的心情增强头脑。这样,当命运注定来临时,我们就有所准备。”

李和杨就是怀着欢乐和愉快的心情在等待和工作着。

捷梅·伯恩斯坦(Jeremy Bernstein)

《纽约客》,1962 年 5 月 12 日,第 38 卷,49 页

弱相互作用的历史*

李政道

上个世纪末，在发现β衰变的时候，关于弱相互作用是一个不同的物理作用力的想法，其演化是很缓慢的。只有当实验上发现了其他弱作用，如μ衰变、μ俘获等等，并且理论上认识到所有这些作用能够近似地用同一个耦合常数来描述之后，这一看法才变得明朗起来，才产生了普适的弱相互作用的看法。只有在此之后，人们才慢慢地认识到，弱相互作用力形成一个独立的领域，或许可与万有引力、电磁力和强作用核力及亚核力等等量齐观。

在准备这份讲演时，我又一次感到，所谓某些“早期发展”相对说来并不是那么遥远。实际上，从只有β衰变一类现象到现在称之为“弱相互作用”的整个领域，它的形成过程大部分都是在我积极投身物理学之后发生的。而我当然认为自己的(或者不如说，我乐意认为自己的)主要科学生涯将来还会有所发展。

---

* T.D.Lee. History of Weak Interaction, Elementary Processes at High Energy. New York: Academic Press Inc., 1971

T. D. Lee. History of Weak Interactions. T. D. Lee Selected Papers. volume 3. Boston: Birkhauser Inc., 1986.475

本项研究是由美国原子能委员会部分赞助。

一、早期历史

弱相互作用问题的困难是，在理论方面，自从30年代初泡利[1]引进中微子的概念和费米[2]做出了β衰变相互作用的唯象拉氏量之后，人们相信已经有了完整的理论。几乎所有随后的理论发展，在很大程度上，仅仅是在同一基本思想的基础上做修正和改进。费米公式的成功给人以深刻的印象，它使我们能用一个参数，即费米耦合常数G，去描述所有已知的极为复杂的弱相互作用，即从不同核的各种允许和禁戒β衰变到其他各种包括轻子、介子和超子在内的弱过程。此处G与核子质量 m_N 有以下关系（$\hbar = c = 1$）：

$$G \approx 10^{-5}/m_N^2 \tag{1}$$

当然，我们知道，费米理论只是一个唯象理论；它的成功也意味着，已知的大量弱过程实际上对这一基础理论是不灵敏的，因此难于取得更进一步理论上的进展。

在实验方面，困难仍在于那些存在着错误但又有说服力的实验结果的存在。从一开始，β衰变实验就走过了一条曲折的道路。首先，它的谱具有许多不连续的谱线；当然，随后证明这一结果是错误的。尽管如此，在早期量子跃迁的日子里，从理论上不连续谱比连续谱更容易理解。在费米理论之后一个很长时期里，理论的预言仍与实验结果不一致。精确的β衰变谱是由劳逊(Lawson)和考克(Cork)[3]在1940年观察到的，在低能量范围里，只是在β射线

---

① W. Pauli. Proceedings of the Solvay Conference. Brussels, 1933.324

② E. Fermi. Zeits. Phys., 1934, 88: 161

③ J. L. Lawson, J. M. Cork, Phys. Rev., 1940, 57: 982

发现50年之后，在1949年才由吴健雄和她的合作者观察到⑤。因此，我们对现在K_B谱里的不确定性以及CP破坏的混乱状态不应该感到过分不安。

当我1946年在芝加哥大学开始做物理学研究生的时候，π介子还不为人知。费米和泰勒(Teller)⑥刚刚完成了他们对康凡西(Conversi)，皮西奥尼(Piccioni)和潘西尼(Pancini)⑦的重要实验的理论分析；他们得出结论，当时在宇宙辐射中发现的介子不可能是汤川假设的强作用力的传递者。这点，至少对于我这个年轻的研究生说来，看起来似乎十分可能，按照二级微扰公式，β衰变相互作用变成非常奇异，或许它就可能是强核力。那时候，人们认为对β衰变相互作用已经了解得相当好了。费米最初的矢量耦合公式：

$$G(\psi_n^{\dagger}\gamma_4\gamma_\lambda\psi_P)(\psi_e^{\dagger}\gamma_4\gamma_\lambda\gamma_5\psi_\nu) \quad (2)$$

毕竟是太简单了；为了和事实一致，它应该扩展为包括伽莫夫-泰勒(Gamow - Teller)项(当然，在这里γ_5的出现并没有物理意义。然而，奇怪的是费米为什么要选择这个特殊的表达式，它与VA相互作用相似，但宇称是守恒的)。

一年之后，由鲍威尔(Powell)和他的同事们通过π-μ-e衰变过程发现了π介子，戏剧性地证实了汤川原来的想法。较高阶的β相互作用是奇异的这个事实并不能说明它就会变成强相互作用。因此，看来把β衰变看做是属于新的一类相互作用是比较合理的。由此出发，在芝加哥的几位研究生，罗森布鲁斯(Rosen-

---

⑤ C.S.Wu, R.D.Albert. Phys.Rev., 1949, 75:315
C.S.Wu. Rev.Mod.Phys., 1950, 22:386

⑥ E.Fermi, E.Teller. Phys.Rev., 1947, 72:399

⑦ M.Conversi, E.Pancini, O.Piccioni. Phys.Rev., 1945, 68:232

bluth)、杨振宁和我[8]1948年开始了较为系统的研究，看看除去β衰变之外，是否还存在可能属于这同一类的相互作用。

当我们发现，如果μ衰变和μ俘获用类似β衰变的4-费米子相互作用来描述的话，它们所有的耦合常数就是同一大小。我们自然要去找我们的老师费米，[9][10] 把我们的发现告诉他，包括我们的推测，基本的弱相互作用与电磁力相似，可以用一个假设的重玻色子和一对费米子场之间的普适的相互作用来表示(在此以后，这个中间玻色子就得到了一个确定名称 $W^{\pm}$，当然还是假设的)。费米以他一贯深刻洞察力，立刻觉察到这件事的全部重要性。他问道：如果这是一个普适的相互作用，就肯定有理由说明为什么某些费米子对会有这样的相互作用，而某些对则没有。例如：为什么

$\mu^- \not\rightarrow e^+ + 2e^-$ 和 $p \not\rightarrow e^+ + 2\upsilon$

同样地，我们也可以问，为什么

$p \not\rightarrow e^+ + \gamma$?

几天之后，他告诉我们他找到了答案；随后他用不同的数字组，如+1，-1和0，去标识每一个粒子。据我所知，这是首次提出重子数守恒规律和轻子数守恒规律。然而，在那个时候(1948年)，我自己对这一构想的反应是完全持否定态度的：确实不需要去解释为什么 $p \not\rightarrow e^+ + \gamma$，因为每个人都知道粒子的特性从来不会通过发射和吸收光子来改变；对于弱相互作用，当时人们只需要说明，仅有三种组合，即$(\bar{n}p)$，$(\bar{e}\nu)$，和$(\bar{\mu}\nu)$能够与中间玻色子有相互作用，为什么还要不厌其烦地去引入一长串神秘的数字呢。

---

⑧ T. D. Lee, M. Rosenbluth, C. N. Yang. Phys. Rev., 1949, 75:905

⑨ 美国研究生院一般"老师—学生"是指"博士导师—博士研究生"的关系。在芝加哥大学时，我的博士导师是费米教授，罗森布鲁斯和杨振宁的博士导师是泰勒教授。

⑩ 正式物理文献上基本不用"I"，都用"We"，这就是"Royal we"。这习惯也常用在科学研究的叙述文章中。本文的"我们"，很多是"Royal we"，其实是"我"。为保存原文的风格，"We"和"Royal we"都译为"我们"。

某些时候,一项发现的出现只是因为时机成熟了;如果某一个人不能做出这一发现,则另一个人肯定会在大约同一段时间做出。回头来看,我们发现不同过程的弱相互作用耦合常数都相同,正好就是这一类型的发现。类似的观察至少还有其他三个小组,即克拉因(Klein)⑪,普比(Puppi)⑫和蒂欧姆诺(Tiomno)及惠勒(Wheeler)⑬小组,在大约同一个时间独立地完成,这件事就很清楚了。当然,费米的想法还有更深的意义。但是他的建议未曾发表,这对于物理学来说实属不幸。数年之后,关于这些守恒定律的全部重要性仍未被认识。对于我来说这也许是第一次当一个伟大的物理思想摆在我面前的时候,我却没有认识到,不幸的是,这并不是最后一次。

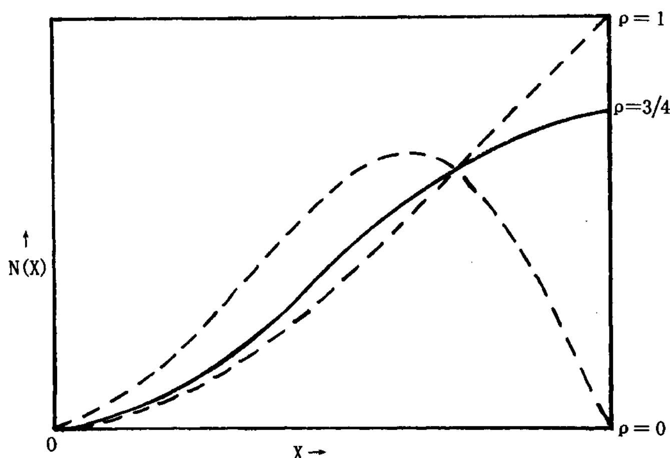


图 1

⑪ O. Klein. Nature. 1948, 161: 897

⑫ G. Puppi. Nuovo Cimento, 1949, 6: 194

⑬ J. Tiomno, J. A. Wheeller. Rev. Mod. Phys., 1949, 21: 153

50年代初，对于β衰变进行了大量的实验。那时候考诺平斯基－乌伦拜克(Konopinski - Uhlenbeck)相互作用已肯定被排除。在衰变谱中，没有费尔兹(Fierz)干涉项，这说明了相互作用或者是V，A或者是S，T。这两种可能性随后被一系列β－υ角关联实验解决了。在允许跃迁中，β－υ之间的角分布由下式(忽略费尔兹项)给出：

$$[1+\lambda(P/E)_e\cos\theta]d\cos\theta \tag{3}$$

其中下标e标明是电子的动量和能量。对于△J＝1衰变，

$$\lambda=\begin{cases}+\frac{1}{3}(\text{对于 T})\\ -\frac{1}{3}(\text{对于 A})\end{cases}$$

在1953年由鲁斯塔德(Rustad)和鲁贝(Ruby)做的^{6}He的β衰变实验[14]给出：

$$\lambda=+0.34\pm0.09 \tag{4}$$

看起来这毫无疑问地确定了β衰变相互作用是S，T，也许还包含有P的某种未知的混合。

有了这一新的结果，关于中间玻色子的理论概念似乎肯定要被排除。如果设想可能有两种具有不同自旋－宇称的中间玻色子，一种为了费米耦合，一种为了伽莫夫-泰勒(Gamow - Teller)耦合，是十分不合适的。然而，甚至对于一个思想开放的理论学家，引入没有导数耦合的张量相互作用也太过分了。即使是用自旋为2的玻色子也不能传递这种作用，因为前者是用非对称张量描述的，而后者则用对称张量描述。

在同一时期，在其他弱相互作用领域，如μ衰变中的电子谱，也有了进展。在这些衰变里，归一化的电子谱N(x)仅取决于一个

---

⑭ B. M. Rustad, S. L. Ruby. Phys. Rev., 1953, 89: 880

参数，名叫米协尔(Michel)参数 ρ：

$$N(x)=6x^2\left[2(1-x)+\frac{4}{9}(-3+4x)\rho\right] \tag{5}$$

其中：

$$\int_0^1 N(x)dx=1$$

并且 x 与电子动量 P_e 和 μ 子质量 m_μ 有关，即：

$$x=P_e\Big/\frac{1}{2}m_\mu \tag{6}$$

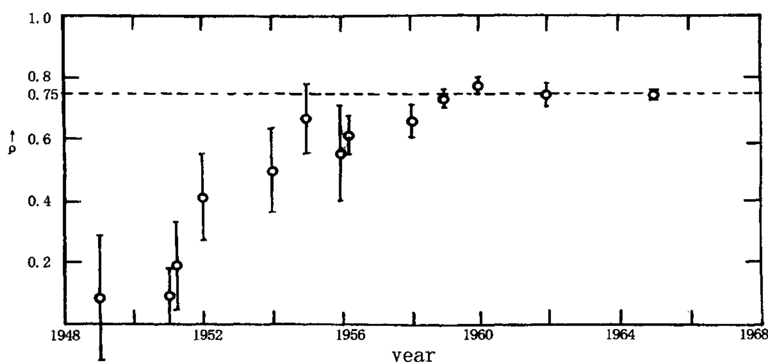


图 2

从图 1 可以看出，不同的 ρ 值给出非常不同的电子谱形状。如图 2 所示，在 1951 年 ρ 的实验值是：

$$\rho=0.1\pm0.1$$

作为比较，目前的数值是：

$$\rho=0.752\pm0.003 \tag{7}$$

观察图 2 中 ρ 值随时间的关系令人感到奇怪，特别需要指出的是，在任何一个特定的时候，每一个实验结果总是在前一个实验结果的误差范围之内。

那时，如果没有出现新发现的奇异粒子间的完全不同的一类弱作用过程，我们对弱作用的了解如此混乱的局面将要延续更长

一段时间。

二、过渡阶段

奇异粒子的衰变扩展了弱作用，除了包括已知的纯轻子 μ 衰变过程，以及奇异数守恒（$\triangle S=0$）的半轻子 μ 俘获和 β 衰变过程之外；有了两类全新的过程：奇异数不守恒的半轻子及非轻子衰变过程。在这些新过程中，最令人不解的是带电 θ 和 τ 介子。这两个介子是按它们的衰变模式定义的：

$\theta^+ \to \pi^+\pi^0$ 和 $\tau^+ \to \pi^+\pi^+\pi^-$

或 $\tau'^+ \to \pi^+\pi^0\pi^0$

θ^+ 的自旋宇称是清楚的 0+，1-，2+ 等等。早在 1953 年，达立兹（Dalitz）[15] 已经指出，τ^+ 的自旋宇称可以通过他的达立兹图来进行分析，而在 1954 年，当时所有的数据比较支持其自旋—宇称应为 0- 而不是 1-。尽管，已知这两个介子具有相近的质量（在 ~20MeV 以内），但在那个时候，对这一结论没有更多的异议。然而，在 1955 年，可以非常准确地测量寿命了。于是，跟统计更好的 τ^+ 衰变的达立兹图一起，确实给出了一个非常令人难解的图像。除去赋予自旋非常高的数值 $J \geqslant 3$ 外（人们不赋予这样大的数值，部分原因是基于直觉，部分原因是它会导致在产生方向和衰变方向之间的角关联，而当时并未观察到），τ^+ 自旋—宇称测量的结果肯定是 0-；因此，它肯定与 0+ 不是同一个粒子。但是，在实验误差范围内（约百分之几），这两个粒子是具有完全相同的寿命和相近的质量。这就是大家所知的 $\theta-\tau$ 之谜。

我的最初反应是，想在常规的理论中设想一个机制去解释这

---

⑮ R. H. Dalitz. Phil. Mag., 1953, 44: 1068
R. H. Dalitz. Phys. Rev., 1954, 94: 1046

一个谜。和奥里尔(Orear)[16]一起,在1955年夏天,我们提出了一个级联机制:接受已提出的自旋宇称的赋值,τ^+是0-,θ^+是0+,但由于相空间的考虑,似乎可以合理地设想θ^+具有较τ^+短得多的寿命;如果我们假设τ^+比θ^+重≈10MeV,0-0禁戒跃迁:

$$\tau^+ \to \theta^+ + 2\gamma$$

就可与τ^+的3π衰变模式相当,如果这种寿命的测量是(它们本来是)由2π衰变模式的衰减来决定的话,结果"表观的"θ寿命就是τ^+的寿命。近似的质量简并就被包括到宇称变换对称中。

然而,当阿尔瓦雷兹(Alvarez)小组在他们的泡室里没有找到这种5 MeV的γ时,我终于清楚了,那是在1956年初,要解决$\theta-\tau$之谜必须依赖于更深层次的东西;或许宇称是不守恒的,而θ和τ实际上是同一个粒子。对于这一简单的想法,直觉的反应是"那么怎么样呢"。除非能够将宇称守恒的可靠性研究同样扩展到其他过程,人们永远不会清楚,在$\theta-\tau$衰变中宇称是守恒还是破缺的。因此,就有必要去研究如何能够在其他弱反应中观察到可能的宇称不守恒效应。

那时,宇称算符P的真实含义还不清楚,至少对我来说是这样。当然,我了解它的数学特征:P应由一个希尔伯特空间中的幺正算符来表示,而在P的作用下,例如对于自旋为1/2的费米场,我们可以得到:

$$P\psi(r,t)P^{-1} = e^{i\varphi}\gamma_4\psi(-r,t)$$

等等。我假设,β衰变可用一个更加普遍的拉氏量来描述,它包括10项耦合常数,即通常的5项C_i(i=S,P,V,A,T)和另外5项宇称破缺常数C'_i。随后我从吴健雄那里借到一本由齐格班(K. Siegbahn)编的有关β衰变的权威著作[17],和杨振宁一起系统地计算了

[16] T. D. Lee, J. Orear. Phys. Rev., 1955, 100:932

[17] K. Siegbahn. Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy. North Holland, 1955

所有可能的宇称破缺的效应。我们从允许谱开始，在用

$C_i^* C_j + C_i'^* C_j'$ 代替通常的 $C_i^* C_j$ (8)

之后确切地得到了同样的表达式。随之而来的是禁戒谱，也得到了同样的结果。我们随后又计算了库仑效应，β－υ关联，β－γ关联和β－γ－γ关联；虽然其中某些计算非常复杂，但如果我们是用同样的一个简单的替换(8)，最终所有 C_i 和 C_j' 之间的干涉项一一被消除，同样的一个老的表达式又出现了，在我们把齐格班的书通读一遍之后，重新用新的相互作用推导了所有的那些老的公式，我们就十分清楚了，在那个时候，甚至连一个能证明在β衰变中宇称是守恒的实验证据都没有。这说明我们是多么愚蠢！应该有一个极为简单的理由，为什么所有那些复杂的干涉项 $C_i^* C_j$ 互相一一消除。当我们停止计算而思考时，在一个相当短的时间里，我们就明白了，缺少证据的原因在于这样一个简单的事实，就是没有人做过任何努力去从看来好像左—右对称的安排中专门挑出赝标量进行研究。

此后，理论问题上了正路。在1956年，写出了关于宇称不守恒，二分量理论以及关于C、P、T可能的不守恒的普遍问题，包括在中性K衰变中可能的CP不守恒等论文[18]。在1957年1月，也导致了由吴健雄，安布勒(Ambler)，海沃斯(Hayward)，霍普斯(Hoppes)和赫德逊(Hudson)所做的有关在β衰变中P和C不对称的极为重要的第一个实验[19]。随后，很快接着由伽温(Garwin)，莱德曼(Lederman)和温瑞奇(Weinrich)以及由费雷德曼(Friedman)[20]

---

⑱ T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104:254

T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1957, 105:1671

T. D. Lee, R. Oehme, C. N. Yang. Phys. Rev. 1957, 106:340

⑲ C. S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes, R. P. Hudson. Phys. Rev., 1957, 105:1413

⑳ R. L. Garwin, L. M. Lederman, M. Weinrich. Phys. Rev., 1957, 105:1415

和泰勒格第(Telegdi)观察到在 π 和 μ 衰变中同样存在对称性破坏㉑。伽温等人所做的实验是非常巧妙的。

大量的新实验迅速地随之而来,但往往有相互矛盾的结果。关于新的 β 衰变相互作用应该是什么的问题迫切需要解决。但是在 1957 年夏天,很显然没有哪个理论能与所有当时已存在的实验结果相一致。其中某些实验肯定是错误的。我私下想,如果有例外的话,老的 ^{6}He 实验一定是正确的。首先,和新的匆忙做完的那些实验不一样,它是富有耐心的大量实验工作的结果;其次,它来自那座优秀的学校——哥伦比亚大学。不过我并没有说出来,而当费曼(Feynman)在那个夏天经过纽约时,当他问我如何看待弱相互作用的实验状况的时候,我建议最好的办法就是去掷硬币来决定。

在那个夏季末,盖尔曼(Gell - Mann)和费曼的论文送到了普平(Pupin)大楼我的办公桌上㉒。在页眉上,费曼写道:"我已经掷了硬币,这就是答案"。读过这篇论文之后,我知道我本应借他的硬币的。

我知道,如果 ^{6}He 实验是错误的,我们就可以有 V - A 相互作用,它在理论上是比较有吸引力的,例如,就有轻子数守恒,π_{e2} 衰变率小等等。大约在同时,这同样的推理使马尔夏克(Marshak)和苏达山(Sudarshan)㉓ 和樱井(Sakurai)㉔ 独立地提出了他们有关 V - A 相互作用的建议。然而,费曼和盖尔曼的补充说明给了我特别深刻的印象,他们认为奇异数守恒的强子弱矢量流 V_{μ}^{wk} 和相应的电磁流 eJ_{μ} 的同位旋矢量部分可以形成一个同位旋三重态:

㉑ J. J. Friedman, V. L. Telegdi. Phys. Rev., 1957, 105: 1681

㉒ R. Feynman, M. Gell - Mann. Phys. Rev., 1958, 109: 193

㉓ R. E. Marshak, E. C. G. Sudarshan. Padua - Venice International Conference. 1957. Phys. Rev., 1958, 109: 1860

㉔ J. J. Sakurai. Nuovo Cimento, 1958, 7: 649

$$V_{\mu}^{wk}, (J_{\mu}) = _{I=1}, V_{\mu}^{wk\dagger} \tag{9}$$

这非常有吸引力，而且看上去具有很深刻的重要性。从这里，可以得到：

$$\frac{\partial V_{\mu}}{\partial x_{\mu}} = 0 \tag{10}$$

由于不存在质量为零而具有强相互作用的粒子，(10)意味着，如忽略辐射修正，则：

$$(G_V)_{obs} = (G_V)_{bare} \tag{11}$$

这样就可以比较强子和轻子的弱耦合常数。V－A 相互作用主要是通过戈德哈伯(Goldhaber)，格劳金斯(Grodzins)和森亚(Sunyar)的中微子的螺旋度的测量[25]来确定。随后吴健雄等人关于^{12}B和^{12}N的$\beta^{\pm}$衰变中弱磁效应的实验[26]以及关于：

$$\pi^{+} \rightarrow \pi^{0} + e^{+} + \nu_{e}$$

寿命的实验[27][28][29]，强有力地说明了盖尔曼—费曼关于同位旋三重态假说的正确性。

从 1957 年以后到现在的十年是一个重要的阐明问题的时期。例如，如图 2 所示，实验得出的ρ数值现在与理论吻合得极好。通过盖尔曼，卡比玻(Cabibbo)和其他人的工作，现在我们有了一个非常简单的相互作用形式，至少对半轻子过程是这样。在同一个时期，我们看到了高能中微子实验的创新，由莱德曼(Lederman)，

---

[25] M. Goldhaber, L. Grodzins, A. Sunyar. Phys. Rev., 1958, 109: 1015

[26] Y. K. Lee, L. W. Mo, C. S. Wu. Phys. Rev. Lett., 1963, 10: 253

[27] R. B. Bacastow, T. Elioff, R. R. Larsen, C. E. Wiegand, T. Ypsilantis. Phys. Rev. Lett., 1962, 9: 400

[28] P. DePommier, J. Heintze, C. Rubbia, V. Soergel. Phys. Lett., 1963, 5: 61

[29] A. F. Dunaitsev, V. A. Peterukhin, Yu. D. Prokoshkin, V. I. Rykalin. Proc. Intern. Conf. Fundamental Aspects of Weak Interactions. Brookhaven National Laboratory, 1963

史瓦兹(Schwartz),斯坦伯格(Steinbeger)和他们的合作者[30]发现了两代中微子:

$$\nu_e \neq \nu_\mu \tag{12}$$

除了 CP[31],人们可以说,我们终于有了弱相互作用的正确的唯象理论了。

三、现 状

与详尽的动力学无关,人们现在期望下述弱相互作用的普适特性能够适用于所有的弱相互作用:

洛伦兹(Lorentz)不变性

电荷守恒

重子数守恒

轻子数守恒

CPT 对称

中微子二分量理论

$\mu - e$ 对称

轻子 $U_2 \times U_2$ 对称

除去这些一般特性之外,我们知道费米关于 V - A 相互作用的唯象理论至少可适用于低 4 动量传递。我可以列出几个尚未解决的重要问题:

1. CP 破坏的原因;

2. 高能量下费米理论不适用(在动量为 300 GeV/c 时幺正限的破坏);

---

[30] G. Danby, J. M. Gaillard, K. Goulianos, L. M. Lederman, N. Mistry, M. Schwartz, J. Steinberger. Phys. Rev. Lett., 1962, 9:36

[31] J. H. Christenson, J. W. Cronin, V. L. Fitch, R. Turlay. Phys. Rev. Lett., 1964, 13:138

3.中间玻色子的可能存在。

与此同时,这里还有许多与详尽的动力学以及诸如 $|\triangle I| = 1/2$ 选择定则,局域手征 $SU_3 \times SU_3$ 流代数的正确性等等有关的问题。这些基本而又重要的问题的存在,近期欧洲核子中心(CERN)的交叉贮存环(ISR)的投入使用有可能产生 $W^{\pm}$ 以及国家加速器实验室(NAL)[32] 500 GeV 加速器将产生非常高能的质子、中微子和 μ 子,可以用来去寻找它们的答案,这一切给在这一领域工作的物理学家们展现了一幅令人振奋的前景。

[32] 译者注:NAL即现在的费米实验室(Fermilab,简称 FNAL)。

高能中微子实验的诞生①②

曼温·史瓦兹(Mel Schwartz)回忆

哥伦比亚的中微子实验的开头,起源于在普平(Pupin)实验室八楼的一个日常喝咖啡的休息时间。每天,在那儿,老师和研究生们快乐地相聚半小时,放松他们日常的工作。这正是新(和旧)观念讨论的地方,经常是由李政道活跃地带头在黑板前讨论。

在1959年11月一个星期二的下午喝咖啡休息时,我恰好到得稍晚,我发现已有活跃的一群人围绕着T.D.(政道,这是我们通常对李政道的称呼)讨论什么是最好的方法去研究高能量下的弱作用。在黑板上写着很多不同种可能的反应,用了所有知道的粒子——电子、质子、中子。可是没有一个是合适的。……

那天晚上,忽然我想到,这是很简单的,只需要用中微子。因为中微子的作用很弱,所以一切它们的作用是弱作用。第二天早晨,我奔到李政道的办公室……

① M. Schwartz. Birth of the High Energy Neutrino Experiments. B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume α. Princeton: World Science Communications, 1972. 82

② http://phys.columbia.edu/history/schwartz2.html

β衰变和宇称不守恒[①②]

吴健雄自述

……1956年早春的一天,李政道教授来到普平物理实验室第十三层楼我的办公室。他先向我解释了 $\tau-\theta$ 之谜。他继续说,如果 $\tau-\theta$ 之谜的答案是宇称不守恒,那么这种破坏在极化核的β衰变的空间分布中也应该观察到:我们必须去测量赝标量 $<\sigma\cdot p>$,这里p是电子的动量,σ是核的自旋。

……在李教授的访问之后,我把事情从头到尾想了一遍。对于一个从事β衰变物理的学者说来,去做这种至关重要的实验,真是一个宝贵的机会,我怎么能放弃这个机会呢?……那年春天,我的丈夫袁家骝和我打算去日内瓦参加一个会议,然后到远东去。我们两个都是在1936年离开中国的,正好是在二十年前。我们已经预订了伊丽莎白王后号的船票。但我突然意识到,我必须立刻去做这个实验,在物理学界的其他人意识到这个实验的重要性之前首先去做。于是我请求家骝让我留下,由他一个人去。

……5月底,春季学期结束之后,我于是认真地开始准备这个实验。……9月中旬,我终于去了华盛顿特区,第一次会见到了安布勒(Ambler)博士。……当实验在华盛顿进行期间,为了教学和

① Chien - Shiung Wu. Beta Decay and Parity Nonconservation. B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1972. 101

② http://phys.columbia.edu/history/wu.html

其他研究事务，我必须穿梭于华盛顿和哥伦比亚大学之间。在圣诞节前夕，机场因大雪而关闭，我乘末班火车回到纽约。我告诉李教授我们观察到的不对称是可以重复的，而且很大。不对称参数几近于 - 1。李教授说这非常好。这个结果正是中微子二分量理论所期望的。

……在1月15日的下午，哥伦比亚大学物理系召开了一个新闻发布会，宣布物理学一个基本定律出人意料地被推翻了。……这一新闻在公众中爆开，迅速传遍全世界。正如剑桥大学O.R.弗瑞奇教授(O.R.Frisch)在那时的一次讲话中描述的那样："'宇称是不守恒的'这一难懂的语句，像一个新的福音传遍了全世界。"

宇称不守恒的发现与未发现①

阿兰·富兰克林(Allan Franklin)②

1.引　言

在这篇文章里,我们要考察自然界中宇称不守恒或者说镜像对称破坏的历史,宇称不守恒是在1957年被发现的,而在1930年,它本来可能被发现,但是却没有被发现。实际上这项发现开始于一项建议,即把宇称不守恒当作解决一个特殊而又令人困惑的问题的一个办法,因为所有常规的解决办法都已是行不通的了。提出建议的人们非常清楚这项建议的革命性本质,为此他们提出了能够验证这一原理的实验。这些实验随后都得到了肯定的结果,致使镜像对称原理被推翻。这些实验都是"决定性的",因为这些实验明确地、又是在相当短的一段时间里,在一个学科领域里,在两个重要理论(或者说两种理论)之间做出了取舍。我们将在第二节里来考察有关的证据。

那时人们没有意识到,在1928年和1930年文献里已经有了

① Allan Franklin. The Discovery and Nondiscovery of Parity Nonconservation. Stud. Hist. Phil. Sci., 1979, 10(3): 201 ~ 257

② 物理学与天文学系,科罗拉多大学,保尔德,科罗拉多 80309,美国(Boulder, CO 80309, U.S.A)。

两个实验结果发表,它们具有同样的物理和逻辑论据,显示出了宇称破坏的效应,但是它们的含意和重要性不但没有被作者所认识,而且一直到 1957 年,物理学界也没有人认识。

看来很清楚,不仅仅是一项实验或者一系列实验的物理和逻辑论据决定了它是否是"决定性"的,而且还必须有其他条件。否则不可能有这种情况,一个实验在一个时期是决定性的,而在另一个时期就不是决定性的。虽然人们不愿意从一个单个的研究中得出过多的结论,但是有几点值得注意。首先,也是最明显的,有关科学界必须认识这实验结果是能够决定两种对立的理论的取舍的。事实上,关于宇称问题,没有理论与已经充分理解的宇称不守恒原理相抗衡。然而,并非一定要有替代理论,因为人们可能已经认识到,实验结果违反了镜像对称,就是在没有替代理论的情况下做出的。其次,如同在宇称问题上,一项异常的结果被人们所认可,虽然它的含义不清楚,只要看来它是相当重要并足以吸引人们注意,因而推动进一步的实验和理论工作。为了使这种看法更清晰,我们在第三节就要讨论,是不是 1928 年和 1930 年的实验事实上已经说明宇称是不守恒的了。

在第四节里我们要来探讨,为什么没有能够认识到这些早期实验的含义以及为什么它们的异常结果没有能引起进一步的探讨。重要的原因是当时还没有像 1957 年那样的理论,把这些实验结果与宇称不守恒定理相联系。我们还会看到,其他科学家也没有去研究这一异常现象,原因是当时有一项极为相近的实验,用了同样的仪器,看起来它在基本理论上更为重要,而实验的最早的结果却跟理论的预言不相一致。历史还将表明,至少是在这一特殊问题上,物理学界是如何对待一个理论的预言的失败的,而他们对于这种理论的极端相信是建立在其他实验和理论基础上的,相信能给出正确的实验预测。在接着的十年里,曾经有过许多重复的实验,结果不同,有的是肯定的,多数是否定的,最后一致的看法是

没能看到预期的结果。也曾经有过一些比较就事论事的理论上的尝试去解释为什么没能看到预期的结果,没有一个令人满意的解。只是到40年代,才找到了实验和理论之间的差异的原因,有讽刺意义的是,它是由早期从事宇称不守恒的实验的研究者中的两位所做出的。

我们还将看到,在30年代,技术的进步竟然使另一些物理学家没能观察到宇称破坏的效应,而在50年代技术的进步却使这问题的解决成为更为紧迫的任务。我们还要看看1957年以前关于宇称守恒的知识的状况,讨论一下为什么宇称不守恒这一革命性的建议在那时得到了认真的对待。

2.宇称不守恒的发现

在物理学的发展史中,一项决定性的实验,或者一系列决定性的实验,其最出色的例子,或许就是1956和1957年发现宇称不守恒的实验。我们可以在下面简要地总结一下这项发现的历史。某些基本粒子衰变的异常现象,也就是所谓的 $\theta-\tau$ 之谜,使得李政道和杨振宁提出建议③,宇称守恒这个已很牢固确定了的定律在弱相互作用中是不守恒的④。他们的论文还提出了几项可以验证

③ T.D.Lee,C.N.Yang.Phys.Rev.,1956,104:254

B.Maglich ed.Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princton: World Science Communications,1973.93~162

④ 物理学家通常把物体之间的相互作用分为四类:强或核作用,它把原子核结合为一体;电磁相互作用,带电物体之间的力;弱相互作用,有关核衰变和基本粒子的某些衰变;引力作用。这些相互作用的强度的比为强:电磁:弱:引力 $=1:10^{-2}:10^{-14}:10^{-34}$

他们建议的实验。他们的假说为吴健雄等[⑤]、伽温(R.L.Garwin)等[⑥]以及费雷德曼(J.L.Friedman)和泰勒格第(V.L.Telegdi)[⑦]的实验所证实。随后其他实验也在另外的情况下证实了他们的建议。在讨论这一发现的详细历史之前,我们先要讨论一下宇称这一概念的意义是什么。

宇称运算的定义是所有空间坐标经过坐标系统原点的反射,即($x \to -x, y \to -y, z \to -z$)[⑧]。如果所有物理定律在这一变换下保持不变,我们就认为它们具有反射或空间反演的对称。在这种情况下,也就是宇称是守恒的[⑨]。如图1[⑩]所示,宇称运算把右手坐标系变为左手系,或者反之。因此,空间反演下的守恒,即宇称守恒,等同于左右不分。

虽然这种对称可以用在经典物理学的系统上,但它的最重要的应用还是在量子力学系统上。然而,我们会发现左右不分是发生在电流和磁场的相互作用的经典讨论中。学习初级物理学的学生们都被教导说,给定一个电流的方向,我们就可以运用"右手定则"找到由这一电流所产生的磁场的方向[⑪]。如果我们想找到这

⑤ C.S.Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hopes, R. P. Hudson. Phys. Rev., 1957, 105:1413

⑥ R.L.Garwin, L.M.Lederman, Marcel Weinrich. Phys. Rev., 1957, 105:1415

⑦ J.L.Friedman, V.L.Telegdi. Phys. Rev., 1957, 105:1681

⑧ 要详细讨论宇称的概念可以去读,例如 W.M.Gibson, B.R.Pollard 的书《基本粒子物理学中的对称原理》, Symmetry Principles in Elementary Particle Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1976.第5章;或者 Hans Frauenfelder, Enerst M. Henley, Nuclear and Particle Physics, Reading, Mass.: W.A.Benjamin, 1975.第4章。

⑨ 细心的读者会发现宇称一直用两种不同的方式。第一种是空间反演的变换,第二种是与系统有关的特性或者数字数量。当我们说宇称守恒时,我们通常是指第二种用法。

⑩ 图和一些数据表列在文章最后。本篇中所有的引文用楷体表示,以示区别。

⑪ George Gamow, John M. Cleveland. Physics, Foundation and Frontiers. Englewood Cliffs, N.Y.: Prentice - Hall, 1969.220 ~ 222

一磁场加在另外一个电流上的力的方向，就可运用第二个“右手定则”。然而，这些定律的“手性”是任意的。如果我们所说的仅仅是可观察的量，即电流和力，我们就可以发现两个“左手定则”能够给出一个同样的结果，表示出左右之间的对称。

吉伯孙(Gibson)和泡拉德(Pollard)指出，在讨论化学和生物学过程的时候也会出现类似的问题。

“例如，某种复合分子的存在有两种形式：异构体有同样的公式，但是它们的结构是由空间反演的变换而相互关联。(见图1)这些物质的溶液，如果其中的一种类型的分子较多，则在光学上是活性的，这样这两种异构体就可区分为右旋或左旋(D或L)[12]。生命物质的氨基酸就是这种类型分子，在生命体内发现只有L氨基酸，但是实验室里合成时，D和L类型有相同的数量。”[13]

因此在生命物质里，即使存在着左-右不对称，这不涉及到自然定律的基本非对称，事实上在实验室里可以产生数量相同的两种异构体。这只不过是地球上生命起源的特殊条件的一个说明。推测起来，生命也许能只以D类型存在，或者以D和L两种类型存在。

在描述量子力学系统的时候，宇称的概念就变得特别重要了。例如，如果我们考虑一个波函数，ψ，它描述的是中央力场里的一个电子，可以证明，在空间反演变换下，波函数或者不变，$\psi(r)=+\psi(-r)$，或改变符号 $\psi(r)=-\psi(-r)$。[14] 后一种态有奇数或者负的宇称，而前者有偶数或者正的宇称。角动量为 l 的波函数的空间

---

[12] 右旋异构体使线性极化光的极化方向向右旋转，而左旋异构体则使它向左旋转。

[13] W. M. Gibson, B. R. Pollard. Symmetry Principles in Elementary Particle Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1976. 119

[14] W. M. Gibson, B. R. Pollard. Symmetry Principles in Elementary Particle Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1976. 120

宇称，由$(-1)^{\ell}$给出。然而，我们知道，只有由单个粒子的波函数组成的主波函数的平方，$|\psi|^2$，或者几个单独的波函数的相对相角是可观测的。如果这一系统只有一种类型的粒子，这些波函数并不受单个粒子波函数符号改变所影响。然而，我们可以有一个系统，它包含几种不同的粒子而且不同粒子的单个粒子的波函数的特性在空间反演下是不同的。每一种粒子波函数的特性，我们指的是这种粒子的内禀宇称。系统的总宇称是空间宇称和内禀宇称的乘积。在这种情况下，在反演的情况下粒子波函数的符号的改变就变得重要了。如果系统的宇称由于它的一个具有内禀宇称的粒子的消灭或产生而引起改变，事实上我们就可观察到这一改变的效应。如果系统的总宇称是守恒的，那么这一剩余系统的空间宇称就必须为了补偿由于粒子的产生或消灭而引起内禀宇称的改变而变化[15][16]。下面我们来看几个例子。我们还要补充一点，通过实验发现，π介子的内禀宇称是奇数或负的[17]。这一点在我们下面的讨论中将是十分重要的。

宇称守恒的现代历史开始于1924年奥托·拉普特(Otto Laporte)的工作[18]。在研究铁原子发射的射线谱的时候，拉普特发现可以将铁原子的态分成两种，他把它们称为gestrichene和un-gestrichene，或者叫做“隔绝(stroked)态”或“未隔绝(unstroked)态”。他发现，只是在原子从一种态变成另一种态的时候，例如从“隔绝态”变为“未隔绝态”的时候才发射辐射。在那个时候，即使这一选择定律已经作为拉普特定律写进了物理学文献，但他还是不能提

---

⑮ Hans A. Bethe, Philip Morison. Elementary Nuclear Theory. Second edition. New York: John Wiley, 1956. 152 ~ 153

⑯ Gibson, Pollard. Elementary Nuclear Theory. Second edition. New York: John Wiley, 1956. 133

⑰ Bethe, Morison. 仝注⑯, 153 页

⑱ O. Laporte, Z. Phys., 1924, 23: 135

出一种解释,说明它为什么是真的。

1927年尤金·维格勒(Eugene Wigner)⑲在宇称守恒或者反射对称概念的基础上,对这一定律做出了一个解释。我们可以将维格勒的解释理解如下。拉普特称之为"隔绝"和"未隔绝"的态,实际上是正宇称态和负宇称态。由于发射的光子的内禀宇称,在最重要的电子偶极辐射情况下是负的,为了使这一系统的总宇称守恒,原子态的宇称必须改变。这样只在原子的宇称从正变为负时才发射光子,或者反之。相同宇称的态之间的跃迁由于宇称守恒而被禁止。这一宇称守恒的概念很快便成为物理学确定的规律⑳。如同弗劳恩弗德(Frauenfelder)和亨莱(Henley)指出的,"由于在空间反射下的不变性非常直观(为什么左手和右手系统应该不一样呢?),宇称守恒很快就变成了一头神圣的牛(即不可侵犯或批评的事物——译者注)了。㉑"我们将在本节的后面提出支持这一观点的证据,但现在我们还是要假定,所有的物理学家都随着维格勒的文章接受宇称是守恒的。

这就是物理学界直到1956年的情况㉒在这个时候物理学家们面对的一个更为令人困惑的问题就是 $\theta-\tau$ 之谜。在1956年晚些时杨振宁曾经总结过这一问题:

---

⑲ E. Wigner, Z. Phys., 1927, 43: 624

⑳ 早期牵涉到这个问题的一篇非常有趣的文章是 P. Jordan, R. de L. Kronig. Nature, 1927, 120: 807, 在这篇文章里 Jordan 和 Kronig 指出牛咀嚼的运动不是直上直下的,而是一种左转或右转的运动。他们报告了在丹麦 Sjaelland 对牛所作的调查,观察到55%的牛的咀嚼是右转的,45%是左转的,他们把这一比率认为与1相符。

㉑ Frauenfelder, Henley. Nuclear and ParticlePhysics, Reading, Mass.: W. A. Benjamin, 1975. 359

㉒ 在1956年以前有两篇文章讨论过宇称不守恒,我们将在稍后来详细讨论它们。

E. M. Purcell, N. F. Ramsey. Phys. Rev., 1950, 78: 807

G. C. Wick, A. S. Wightman, E. Wigner. Phys. Rev., 1952, 88: 101

“我现在谈最后一个问题，就是确定K粒子的同一性问题。人们开始对这一问题感兴趣是由于研究$K_{\pi3}^{+}$，也就是τ^{+}介子，衰变为三个带电的π介子，可能对它的自旋和宇称得到某些结论。这里让我给出一个简单的例子来说明争论的症结所在。假设从τ介子衰变得来的π介子中的一个是很慢的，那么我们就可以假定它是在一个相对与其他两个π介子的质量中心的s态中产生出来的。在这种情况下人们会得出什么结论呢？自然，剩下的两个π介子将是在一个态里0^{+}，1^{-}，2^{+}……，因为π介子是没有自旋的而他们的内禀宇称合在一起为“偶数”，因此这两个π介子系统的自旋和宇称是与它们的波函数的轨道部分一致的[23]。另外的一个π介子的宇称是奇数，对角动量没有贡献；这样我们就能够得出结论，三个介子合在一起的自旋和宇称只能是0^{-}，1^{+}，2^{-}……。由于自旋和宇称在任何过程里都是守恒的，τ介子的自旋和宇称也必须是0^{-}，1^{+}，2^{-}等等。$K_{\pi2}$同样也只能是0^{+}，1^{-}，2^{+}……。这样我们就可得出结论，如果τ介子衰变为三个π介子，其中一个是慢的，$K_{\pi2}$和τ就不能是同一个粒子。当然，分析并不是这样简单，因为这里总是有这样的问题：衰变的π介子的“慢”是如何的慢？为了研究这个问题，τ衰变产物的动量分布已经在一个三角形图上画出，研究了实验数据对于τ具有不同可能的自旋和宇称的全部分布。在目前约有一千多个实验点，普遍的看法是τ跟$K_{\pi2}$（$K_{\pi2}\equiv\theta^{+}$）不是同一粒子。

“然而，这还不能做出匆忙的结论。这是因为在实验上似乎所有K介子全都具有相同的质量和相同的寿命。它的质量已知的精确度是从2到10个电子的质量或者是百分之一的几分之一，而

---

[23] 我们再一次指出，在一个轨道角动量l的态里，波函数的空间宇称是由$(-1)^{l}$给出。作为例子可参见 Gibson, Pollard. Symmetry Principles in Elementary Particle Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1976. 120

它的寿命的精确度是20%。由于具有不同自旋和宇称数值而且与核子和 π 介子有强相互作用的粒子，并不预期有同样的质量和寿命，我们仍旧继续提这个问题，上面有关 τ^+ 和 θ^+ 不是同一个粒子的推论是否已成定论。附带地，我可以补充说上述推论当然可以认为是结论性的，如果没有质量和寿命的简并的反常问题，事实上比物理学中的其他许多推论更有根据[24]。"

李政道在他1971年的回忆里表达了类似的看法，对这一问题的实质提出了进一步的分析。

"在这些新过程中，最令人不解的是带电 θ 和 τ 介子。这两个介子是按它们的衰变模式定义的：

$\theta^+ \to \pi^+ \pi^0$

和 $\tau^+ \to \pi^+ \pi^+ \pi^-$

或 $\tau'^+ \to \pi^+ \pi^0 \pi^0$

θ^+ 的自旋宇称是清楚的 $0^+, 1^-, 2^+$ 等等。早在1953年，达立兹(Dalitz)已经指出，τ^+ 的自旋宇称可以通过他的达立兹图来进行分析[25]，而在1954年，当时所有的数据比较支持其自旋－宇称应为 0^- 而不是 1^-。尽管，已知这两个介子具有相近的质量(在～20 MeV以内)，但在那个时候，对这一结论没有更多的异议。然而，在1955年，可以非常准确地测量寿命了。于是，跟统计更好的 τ^+ 衰变的达立兹图一起，确实给出了一个非常令人难解的图像。除去赋予自旋非常高的数值 $J \geq 3$ 外(人们不赋予这样大的数值，部分原因是基于直觉，部分原因是它会导致在产生方向和衰变方向之间的角关联，而当时并未观察到)，τ^+ 自旋－宇称测量的结果肯定

---

[24] C. N. Yang. Rev. Mod. Phys., 1957, 29: 231

[25] R. H. Dalitz. Phil. Mag., 1953, 44: 1068
Phys. Rev. 1954, 94: 1046
E. Fabri. Nuovo Cimento, 1954, 11: 479

是 0^-；因此，它肯定与 0^+ 不是同一个粒子。但是，在实验误差范围内(约百分之几)，这两个粒子是具有完全相同的寿命和相近的质量。这就是大家所知的 $\theta-\tau$ 之谜。”㉖

起初，物理学家，包括李和杨在内试图在传统的理论框架内解决这一谜㉗。我们会在稍后的章节里来讨论这些试探，在那里我们将介绍做出宇称不守恒的建议的背景。现在只指出，他们的这些试探是不成功的，李和杨清楚地看到，解决问题的一个可能的解就是在弱相互作用中，特别是在 K 介子衰变中宇称的不守恒。因此，纵然 K 介子是产生于确定的宇称态，它能衰变为宇称相反的两个 π 介子或者三个 π 介子态，τ 和 θ 仅是同一个粒子的不同衰变模式。正如李指出的，

“对我来说终于就清楚了，那是在 1956 年初，要解决 $\theta-\tau$ 之谜必须依赖于更深层次的东西；或许宇称是不守恒的，而 θ 和 τ 实际上是同一个粒子。对于这一简单的想法，直觉的反应是“那么怎么样呢”。除非能够将宇称守恒的可靠性研究同样扩展到其他过程，人们永远不会清楚，在 $\theta-\tau$ 衰变中宇称是守恒还是破缺的。因此，就有必要去研究如何能够在其他弱反应中观察到可能的宇称不守恒效应。”㉘

1956 年初，李和杨开始检查在以往的实验中宇称守恒存在的证据。他们发现，令他们惊讶的是，过去有关弱相互作用物理的全部实验都没能提供支持宇称守恒的证据㉙㉚。他们还发现，虽然关

㉖ T. D. Lee. History of Weak Interactions. Columbia Univ, 1971.10(未发表)

㉗ 有关讨论参见 J. Ballam, V. L. Fitch, T. Fulton, K. Huang, R. R. Rau. S. B. Trieman ed. Proc. Sixth, Ann. Rochester Conf April 3 - 7, 1956. New York: Interscience, 1957. V, 28 - 31 and VIII, 1 - 28 和 C. N. Yang. Rev. Mod. Phys., 1957, 29: 231

㉘ T. D. Lee. History of Weak Interactions. Columbia Univ, 1971.11(未发表)

㉙ T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104: 254

㉚ T. D. Lee. History of Weak Interactions. Columbia Univ, 1971.10(未发表)

于强和电磁相互作用的实验,精确度很高地证明宇称是守恒的,但这些实验在观测弱相互作用中任何宇称不守恒的效应时的精确度却是十分不够的。李是这样报告他们的研究的:

“随后我从吴健雄那里借到一本由齐格班(K. Siegban)编辑的有关β衰变的权威著作[31],和杨振宁一起系统地计算了所有可能的宇称破缺的效应。……在我们把齐格班的书通读一遍之后,重新用新的相互作用推导了所有的那些老的公式之后,我们就十分清楚了,在那个时候,甚至连一个能证明在β衰变中宇称是守恒的实验证据都没有。这说明我们是多么愚蠢!……当我们停止计算而思考时,在一个较短的时间里,我们渐渐地明白,缺少证据的原因就是这样一个简单的事实,就是没有人做过任何努力去从看来好像左-右对称的安排中专门挑出赝标量[32] 进行研究。”[33]

我附带地补充一下,李和杨实际上没有发现两个早期的实验[34][35],这些实验或许已对宇称不守恒提供了某些证据。这一点并不令人惊讶,因为他们是在检查β衰变和弱相互作用,而早期的实验是做电子散射的,他们只用从β衰变出来的电子作为他们的源[36]。我们还发现,即使这些实验文章在电子散射领域里为大家所知,但事实上在30年代晚期的物理文献里不再提到它们了。我们要在下一节里讨论这些实验以及他们的失误的原因。

在发现没有证据可以证明在弱相互作用中宇称是守恒的,并

---

[31] K.Siegban ed. Beta - and Gamma - Ray Spectroscopy. Amsterdam: North - Holland, 1955

[32] 赝标量就是在宇称运算下改变符号的一种量。

[33] T.D.Lee. History of Weak Interactions. Columbia Univ, 1971.12(未发表)

[34] R.T.Cox, C.G.Mcllwraith, B.Kurrelmeyer. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1928, 14: 544

[35] Carl T.Chase. Phys. Rev., 1930, 36:1060

[36] 在与作者私人的谈话里,李政道指出,他和杨直到他们最初的宇称不守恒文章发表之前并不知道这些实验。

且宇称不守恒可以解决物理学中一个令人头疼的问题，$\theta-\tau$之谜，他们就可以无阻碍地提出他们那个革命性的建议了。杨对他们的思想状态作了简要的说明，

“在没有实验支持的情况下，长期以来，人们竟错误地相信弱相互作用中宇称守恒，这个事实本身是令人吃惊的。然而更令人吃惊的是，物理学家如此充分了解的一个空间时间对称定律可能面临破产。我们并不喜欢这种可能。我们是由于试图理解$\theta-\tau$之谜的各种努力都遭到挫折，而被迫考虑这种可能的。”[37]

不管是不是被挫折所迫，李和杨在他们的论文《弱相互作用中的宇称守恒质疑》[38]里提出了他们的假说，这篇论文现在已经成为经典了。论文的摘要是一篇谨慎的说法的杰作。“本文检验了β衰变及超子和介子衰变中的宇称守恒问题。建议了在这些相互作用中可以检验宇称守恒的可能实验。”[39]从这里很难看出，就是这篇论文能把一个物理学里长期存在的极为肯定的原理给推翻了，而它又能在了解弱相互作用问题上带来重要的理论进步。论文的引言同时提出了问题和它的解。

“最近，实验显示$\theta^+(\equiv K_{\pi2}^+)$和$\tau^+(\equiv K_{\pi3}^+)$介子的质量[40]和寿命[41]几乎完全一样。另一方面，基于角动量和宇称守恒，对τ^+的

---

[37] C. N. Yang. Nobel Lectures Physics 1942－62. Amsterdam: Elsevier, 1964. 398
B. Maglich. ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973. 93～162

[38] T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104:254

[39] T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104:254

[40] Whitehead Stork, Perkins, Peterson, Birge. Bull. Am. Phys. Soc., Ser Ⅱ, 1956, 1:184
Barkas, Heckman, Smith. Bull. Am. Phys. Soc., Ser Ⅱ, 1956, 1:184

[41] Harris, Orear, Taylor. Phys. Rev., 1955, 100:932
V. Fitch, K. Motley. Phys. Rev., 1956, 101:503

衰变产物的分析[42]强烈建议 θ^+ 和 τ^+ 是不同的粒子，这就形成了一个相当令人迷惑的局面，并引起了广泛的讨论。[43]

“摆脱这种困境的一种方法是，假定宇称不严格守恒，θ^+ 和 τ^+ 是同一种粒子的两种不同的衰变模式，它们的质量和寿命就必须相同。在本文中，我们想在已有的宇称守恒的实验证据的基础上分析这种可能性。我们的分析清楚显示，在强作用和电磁作用中，现有的实验以很高的精确度表明宇称守恒；但是，对弱相互作用(即，介子和超子的衰变作用和各种费米相互作用)宇称守恒至今仍只是外推的假设，并没有实验证据的支持。(人们甚至可以说，现在的 $\theta-\tau$ 之谜也许可以视为弱作用中宇称守恒破坏的迹象。但是，这个论点没有被认真对待，因为，我们目前对奇异粒子的性质的了解太少了。不如说，这提供了一个检验宇称守恒问题的动机。)”[44]

我们可以想象，在将来的某个时候，某一位聪明的研究生在回顾这一事件的时候，一定会对所有的这些迷惑感到不解。他会做出结论，θ^+ 和 τ^+ 衰变是很清楚地表明了弱作用中宇称是不守恒的。不过，李和杨仍是非常正确的。正如我们在稍后的一节里要讨论的，当时在所谓的“奇异”粒子领域里的状况是非常混乱和莫测的。这不仅包括了 $\theta-\tau$ 之谜，还有这个领域里的其他问题，没有人能够说他是很了解的。事实上，我们就要看到，在所建议的 $\theta-\tau$ 之谜的解之中，宇称破缺假说不仅仅是正确的，而且是最有道理的。然而，李和杨远不只是提出了弱相互作用中宇称不守恒的

---

[42] R. Dalitz. Phil. Mag., 1953, 44: 1068
E. Fabri. Nuovo Cimento, 1954, 11: 479
最近研究结果参看 Orear, Harris, Taylor. Phys. Rev., 1956, 102: 1676

[43] 参看，例如本章节的注[27]

[44] T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104: 254

建议。不守恒的可能性在早些时已经提出来过㊺,但只不过是一种逻辑的可能性,也没有作为这一物理问题的解释提出来。李和杨还提出了一些检验他们的假说的明确的建议:

“要明确地认定宇称在弱作用中是否守恒,我们必须通过实验确定弱作用能否分出右和左,下面将讨论一些可能的这类实验。”㊻

虽然李和杨建议了一些实验,事实上这些实验随后都做了,我们只想集中介绍两个实验,极化核的β衰变和$\pi \to \mu \to e$级联衰变,因为这两个是第一批完成的实验,我们还将看到,它们为物理学界提供了决定性的证据。我们先从β衰变实验开始。

“一个相对简单的可能的实验是,测量极化原子核的β衰变中出射的电子的角分布。设θ为母核取向与电子动量的夹角,θ和$180° - \theta$分布的不对称性就构成β衰变中宇称不守恒的肯定证据。”㊼

对此我们可作如下理解。假设我们有一个有取向了的或者说是极化了的核,它的自旋方向朝上(见图2)。我们假设从这一核的β衰变出来的电子是朝着与自旋相反的方向离开。假如我们所作的是一维反射,我们看到的镜像中的核的自旋方向与电子的动量的方向是一致的。因而衰变的镜像与真实的衰变是不同的,宇称是不守恒的。惟一能表明宇称是守恒的实验结果,只能是在一组有取向的核里,从两个方向出来的电子的数目是相同的。在这种情况下,两组衰变的镜像应与真实实验一个样。事实上,情况远为复杂,因为电子不只是沿自旋方向发射,而且具有不对称的角分

㊺ E. M. Purcell, N. F. Ramsey. Phys. Rev., 1950, 78: 807
G. C. Wick, A. A. Wightman, E. Wigner. Phys. Rev., 1952, 88: 101

㊻ T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104: 254

㊼ T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104: 255

布。正如李和杨指出的,

“更明确地说,让我们考虑任意一个极化核,比如 Co^{60} 的允许 β 跃迁。β 射线的角分布形式为(见附录):

$$I(\theta)d\theta = (常数)(1+\alpha\cos\theta)\sin\theta d\theta \qquad (2)$$

其中 α 正比于干涉项……如果 $\alpha \neq 0$,我们就得到了 β 衰变中宇称不守恒的肯定证明。……因此,有可能证明这个实验是行得通的。”㊽

这正好就是由吴健雄和其他合作者所作的实验㊾。他们的实验基本上包括了一层极化 Co^{60} 核和一个电子计数器,计数器安装在与核的取向或者平行或者相反的方向上。Co^{60} 核的极化方向是可以改变的,而计数率的任何差别在固定位置的电子计数器上是可以观察到的。他们的结果列在图 3 上,清楚地显示出一种不对称,这就是宇称破坏。李和杨在他们的引言里指出了这一实验对于宇称不守恒问题的重要性,他们简明地指出

“如果观察到在 θ 和 180° - θ 之间的分布有任何不对称(θ 是母核的取向与电子动量之间的夹角),它就提供了在 β 衰变中宇称不守恒的证据。这种不对称现在在有取向的 Co^{60} 的实验中被观察到了。”㊿

可以看到,这是一项非常困难的实验,因为它使用了非常低的温度去保持核的取向,又要将一个 β 计数器放在低温恒温器内,还要把放射性的核附着在一层薄膜上。图 3 清楚地显示出温度的效应。当样品的温度上升时,核的极化遭到破坏,不对称性便消失了。

李和杨建议的第二个实验是 $\pi \to \mu \to e$ 级联衰变:

㊽ T.D.Lee, C.N.Yang. Phys. Rev., 1956, 104: 255

㊾ Wu et. al. Phys. Rev., 1957, 105: 1413

㊿ Wu et. al. Phys. Rev., 1957, 105: 1413

“在如下衰变过程中，

$$\pi \rightarrow \mu + \nu \quad (5)$$

$$\mu \rightarrow e + \nu + \nu \quad (6)$$

从静止的 π 出发，我们可以研究 μ 介子[51] 的动量与在 μ 介子的质心系中的电子动量的夹角 θ 的分布。如果在(5)和(6)中宇称都不守恒，一般说来，对于 θ 和 π－θ 的分布不相同。为了理解这一点，首先考虑 μ 的自旋取向。如果过程(5)破坏宇称守恒，一般来说，μ 会在它的运动方向极化。在接着的衰变(6)中，对 θ 角的角分布问题则与我们前面讨论的从极化核上出射的 β 射线的角分布问题非常类似。”[52]

这一实验已经由伽温等人[53] 和弗瑞德曼和泰勒格第[54] 用两种不同的技术完成了。伽温等人的实验：用炭块阻当 π 介子衰变出来的 μ 介子，使它停在碳块中；测量由 μ 介子随即衰变而放射出来的电子。他们并不是用移动电子探测器的办法去观察衰变角分布的不对称，他们发现让介子的自旋或者磁矩旋转并用固定计数器来观测电子更为容易。

“现在假设减速、停止、等待一微秒都不能使 μ 子去极化。在这种情况下，从靶上发射出来的电子对于极化方向的角分布会不对称，也就是，当自旋为 1/2 时，有 $1 + \alpha\cos\theta$ 形式的分布。在没有任何垂直磁场的情况下，计数器系统将在 $\theta = 100°$ 的地方对这一分布取样。我们现在在靶的磁屏蔽内加上一个弱的垂直磁场，这一磁场使 μ 子具有一个频率为 $(\mu/sh)H$ rad/sec 的进动，绕着 μ 子的自旋而旋转，其角度有一定的或然分布。在这种情况下，我们能用

---

[51] 译者注：人们在 20 世纪 50 年代称 μ 子为 μ 介子。在本文中。凡原文为 μ meson，译为 μ 介子，如为 muon，则译为 μ 子，有时简称为 μ。

[52] T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104:257

[53] Garwin, Lederman, Weinrich. Phys. Rev., 1957, 105:1415

[54] Freidman, Telegdi. Phys. Rev., 1957, 105:1681

一个固定计数器系统对全部分布取数，画出在一定的延迟时间后随磁化电流变化的计数。”[55]

他们的结果表示在表4上，清楚地显示出不对称。他们的结果如下：

“Ⅰ.在($\mu^+ \to e^+ + 2\upsilon$)中发现了电子的分布的大的不对称，表明$\mu^+$束流是强极化了的。

Ⅱ.电子的角分布由$1 + \alpha\cos\theta$给出，θ是对入射μ的速度矢量测量出来的。我们得到$\alpha = -1/3$，误差估计为10%。

Ⅲ.在反应($\pi^+ \to \mu^+ + \upsilon$)和($\mu^+ \to e^+ + 2\upsilon$)中宇称是不守恒的。”[56]

弗瑞德曼和泰勒格第用核乳胶技术也完成了同样的实验。[57]在他们的实验里，他们使π^+介子停止在核乳胶里，由衰变产生的μ^+介子也停止下来。之后他们观察衰变电子相对于μ介子方向的分布，得到了以下的结果：

$$\left[\int_{90^\circ}^{180^\circ} |W(\theta)| d\Omega - \int_{0^\circ}^{90^\circ} |W(\theta)| d\Omega\right] \Big/ \int_{0^\circ}^{180^\circ} |W(\theta)| d\Omega = 0.062 \pm 0.027$$ [58]

后来在文章校样时加了一个注，在进一步工作的基础上，把结果改变为0.091 ± 0.022。他们也得出结论，认为在这些衰变中宇称是不守恒的。

有趣的是，这些实验不但表明在弱相互作用中宇称是不守恒的，而且另外一个定律，电荷共轭，或者粒子—反粒子的不变性也

---

[55] Garwin, Lederman, Weinrich. Phys. Rev., 1957, 105: 1416

[56] Garwin, Lederman, Weinrich. Phys. Rev., 1957, 105: 1415

我们应该注意到，作者承认在开始他们的实验之前，他们是知道吴健雄的实验的初步结果的。那时他们的工作是按天计算甚至是按小时计算的。见 B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973.93

[57] Friedman, Telegdi. Phys. Rev., 1957, 105: 1681

[58] Friedman, Telegdi. Phys. Rev., 1957, 105: 1681

的，而且另外一个定律，电荷共轭，或者粒子—反粒子的不变性也被破坏。在一篇当时还未发表，但是他们的思想已广为人知的论文里，李等[59]已经指出，宇称守恒的破坏必然包含着电荷共轭的破坏。[60] 所有上述三项实验都表明这电荷共轭守恒定律是不成立的。

很快就有了很多的实验[61] 证明弱相互作用中宇称是不守恒的。有些实验表明从核 β 衰变里有电子的纵向极化产生，这引起了特别的兴趣。事实上，这些实验与在 1928 和 1930 年完成的那些实验是很相似的，而且其中一个实验基本上是相同的。[62] 这一效应首先也由李和杨在后来一篇论文[63] 里预见到了，而且是由弗劳

---

[59] T. D. Lee, Reinhard Oehme, C. N. Yang. Phys. Rev., 1957, 106:340

[60] 虽然宇称守恒(P)和电荷共轭守恒(C)这两个定律已经证明是不成立的，但是物理学家仍然相信这两个定律的乘积 CP 仍是守恒的。直到 1964 年 Christenson, Cronin, Fitch. Turlay 的另一个实验(Phys. Rev. Lett, 1964, 13:138)完成之前，这个看法还是对的，他们的实验是关于两种类型的 K 介子的，之后称作K_1^0和K_2^0，表明这个守恒定律是不成立的。

[61] 除去在本文里讨论过的实验之外，表明宇称不守恒的实验还有：A. Abashian, R. K. Adair, R. Cool, A. Erwin, J. Kopp, L. Leipuner, T. W. Morris, D. C. Rahm, R. R. Rau, A. M. Thorndike, W. L. Whittemore, W. J. Willis 用另一种技术即液氢泡室确认 $\pi \to \mu \to e$ 衰变的结果，Phys. Rev., 1957, 105:1927 和 H. Schopper. Phil. Mag., 1957, 2:710 以及 F. Boehm, A. H. Wapstra. Phys. Rev., 1957, 106:1364 用 β 衰变后放射出的园极化 γ 射线。M. Goldhaber, L. Grodzins, A. Sunyar 用 β 射线发射出的轫致辐射(γ 射线)的园极化，Phys. Rev., 1957, 106:826 和 Lorne A. Page, Milton Heinberg. Phys. Rev., 1957, 106:1220 及 S. S. Hanna, R. S. Preston. Phys. Rev., 1957, 106:1363 测量放射性衰变中发射出的正电子的纵向极化。这里只是列出了一部分实验，但足可以看出由这一题目引发的研究兴趣。我们还要指出吴健雄和她的合作者在 Phys. Rev., 1957, 106:1361 上和 Friedman, Telegdi. Phys. Rev., 1957, 106:1290 上发表了他们进一步的研究结果。

[62] R. T. Cox, C. G. McIlwraith, B. Kurrelmeyer. Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A., 1928, 14:544

Carl T. Chase. Phys. Rev. 1930, 36:1060

[63] T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1957, 105:1671

恩弗德和他的合作者首先证实的。[64] 简单地说，这个实验包括将电子的纵向极化转变为横向极化，然后根据电子散射中的左右不对称来探测横向极化。

“要观测预期的纵向极化是困难的。然而，用静电偏转装置，可以把纵向极化变为横向的[65]。横向极化可以用高 Z 材料的薄膜散射电子(莫特(Mott)散射)的办法来测量。因为自旋—轨道相互作用，弹性散射出来的电子，呈现出显著的左—右不对称，特别是在散射角 90°和 150°之间[66]。从这一可测量的不对称可以算出最初的纵向极化[67]。”卡万那夫(Cavanagh)等做了一个相似的实验[68]，其主要区别是纵向极化转变为横向极化是由交叉电场和磁场来产生的。”

从我们的观点看来，最重要的探测电子极化的实验是由利普金(Lipkin)等做的实验[69]。这些实验包含从两个金属表面双重散射出来的电子。第一次在 90°的散射将纵向极化变为横向。这种变化随后在第二次散射时由于左—右不对称而被探测到了。我们把有关物理的详细的讨论推迟到下一节，但是我们要指出这些实验是几乎与前面讲过的那两个较早的实验相同的。

我们现在在一个适当的位置上来决定，按照我们早些时候所讨论过的，这些表明宇称不守恒的实验是不是决定性的实验？我们要回答的第一个问题是，宇称守恒定律的推翻是不是能称得上

[64] H. Frauenfelder, R. Bobone, E. Von Goeler, N. Levine, H. R. Lewis, R. N. Peacock, A. Rossi, G. DePasquali. Phys. Rev., 1957, 106: 386

[65] H. A. Tolhoek. Rev. Mod. Phys., 1956, 28: 277

[66] N. Sherman. Phys. Rev., 1956, 103: 1601

[67] Frauenfelder et al. Phys. Rev., 1957, 106: 386

[68] P. E. Cavanagh, J. F. Turner, C. F. Coleman, G. A. Gard, B. W. Ridley. Phil. Mag., 1957, 2: 1105

[69] A. DeShalit, S. Kuperman, H. J. Lipkin, T. Rothem. Phys. Rev., 1958, 109: 223

极为重要。毕竟,许多随后陆续做的实验,可以丰富科学家的知识,或者稍稍改变他们的观点,但显然谈不上极为重要。

有一点是清楚的,就是宇称守恒定律的破坏虽然不能说是物理学家对自然界认识中,如同从亚里士多德到牛顿动力学的变化,或者从牛顿力学到相对论或量子力学的变化那样的一种重大的变化,但它确实足够重要并且是基础性的,可以认为是革命性的。前面我们已经看到,左右不分是经典物理学的一个特征,而我们即将看到,它是物理学界从 1927 年维格勒的论文发表到 1957 年实验结果公布为止广泛并强烈持有的一种信仰。或许这一发现的革命性特征的最有力的证据就是李和杨被授予了 1957 年度的诺贝尔物理学奖,这次的奖项从发现到得奖之间的时间,恐怕在诺贝尔奖的历史上是最短的了。克拉因(O. B. Klein)的介绍演说清楚地指出了这一点。

“但是左和右问题跟基本粒子物理有什么关系呢? 首先,只从保守的观点来看,差不多不言而喻,假设基本粒子是对左和右对称的。这一假定在完善费米的理论时起了重要的作用。提出这一假定是非常自然的,主要是从狄拉克的理论出发,根据他的理论,电子这一了解得最好的基本粒子似乎并不具有允许右和左的区别这一特征。事实上,我们多数都倾向于认为基本粒子对于右和左的对称是自然界左右对称普遍法则的必然结果。感谢李和杨以及经他们启发而做出的实验发现,我们现在知道这是一个错误。……我也不能充分提到你们的新成就在物理学家们中间引发的热情。通过你们持久不渝和不带偏见的思考,你们能够打破基本粒子领域里的一个极为令人迷惑不解的僵局,由于你们卓越的成就,现在实验和理论工作在这一领域里大量涌现。”⑩

当我们讨论那使得物理学界立刻接受宇称不守恒的证据时,

---

⑩ B. Klein. Nobel Prize Presentation Speech

我们将回头再到这一点来。我们还要指出,李和杨在没有对支持宇称守恒的证据进行详细检验的情况下,他们对于建议这个假说犹豫不决,他们的犹豫正说明了这一发现的革命性的本质。

去看一看实验学家们在他们做这些实验之前是怎样想的是有价值的,虽然也许不能最终证明这些实验具有决定性的本质,或者也不能最终证明有关原理的重要性。吴健雄教授报告了她的感觉,如下所述。

“在李教授的访问之后,我把事情从头到尾想了一遍。对于一个从事β衰变物理的学者说来,去做这种决定性的实验,真是一个宝贵的机会,我怎么能放弃这个机会呢?即使最后得出在β衰变中宇称守恒是正确的,实验结果至少可为违反守恒设定一个上限,因而可以不再去思索宇称守恒的问题了。

“那年春天,我的丈夫,袁家骝和我打算去日内瓦参加国际高能物理会议,然后到远东去作学术演讲旅行。我们两个都是在1936年离开中国的,正好是在二十年前。我们已经预订了伊丽莎白王后号的船票。但我突然意识到,我必须立刻去做这个实验,在物理学界的其他人意识到这个实验的重要性之前首先去做。尽管我觉得宇称守恒定律可能是错误的这种可能性很少,但我还是急切地想做一个实验把它搞清楚。于是我请求家骝让我留下,由他一个人去。幸运的是,他完全了解时间因素的重要性并最终同意他一人单独去旅行。”[71]

泰勒格第教授表示了类似的看法。

“1956年8月前后,我在列昂那·马歇尔(Leona Marshall)的办公桌上看到了一份预印本:那就是现在已成经典之作的李和扬关于宇称不守恒和$\theta-\tau$之谜的文章。它立刻使我明白这是一篇非

[71] C.S. Wu. B. Maglich ed.. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973: 104

凡的论文。很明显，$\pi-\mu$ 链可以容易地用乳胶来研究；而我还觉得，如果宇称不守恒是 $\theta-\tau$ 之谜的解释的话，宇称破坏的效应就不会是很小的。

“我举行了一个有关李和杨的论文的研讨会，徒劳地想与其他人分享一下我的兴奋之情。年长的同事们的热情很小，他们劝告我，我们会浪费自己的时间。我说我愿意冒险浪费三个月的时间去探讨这一令人兴奋的可能性。”[72]

去检验宇称守恒的证据也是重要的，因为物理学界对它的正确性广泛而强烈地深信不疑。这一点在上述吴健雄和泰勒格第的回忆里已很清楚了。或许最早有关宇称守恒的证据[73] 是在泡利(Pauli)的文章里(他后来也获得了诺贝尔奖[74])，在 1933 年他拒绝了韦尔(Weyl)关于 1/2 自旋粒子的二分量理论[75]。泡利指出，韦尔的理论给出那些粒子的质量为零而在镜像反射下又不是不变的。

“然而，如推导所示，这些波动方程在反射下不是不变的(左右相互交换)，因而不适用于物理的现实。”[76]

有趣的是，因为违反了宇称守恒而被泡利拒绝的理论，与后来由李和杨[77]，朗道(Landau)[78] 和萨拉姆(Salam)[79] 建议的理论很相

---

[72] V. L. Telegdi. B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Education, 1973. 132

[73] 早期牵涉到这个问题的一篇非常有趣的文章是 P. Jordan, R. de L. Kronig. Nature, 1927, 120: 807，在这篇文章里 Jordan 和 Kronig 指出牛咀嚼的运动不是直上直下的，而是一种左转或右转的运动。他们报告了在丹麦 Sjaelland 对牛所作的调查，观察到 55%的牛的咀嚼是右转的，45%是左转的，他们把这一比率认为与 1 相符。这是关于宇称守恒的有趣的看法。

[74] 译者注：泡利因他提出的泡利不相容原理在 1945 年获得诺贝尔物理学奖。

[75] H. Weyl. Z. Phys., 1929, 56: 330

[76] W. Pauli, Handbuch. Phys., 1933, 24: 226

[77] T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1957, 105: 1671

[78] L. Landau. Nuclear Phys., 1957, 3: 127

[79] A. Salam. Nuovo Cimento, 1957, 5: 299

似,他们很自然地把宇称不守恒和弱相互作用结合起来。

甚至到了 1957 年 1 月 17 日,泡利仍然不相信宇称不守恒。他在写给维克多·韦斯柯夫(VictorWeisskopf)的信里说:“我不相信上帝是个弱的左撇子,实验肯定会得出对称的结果,我准备拿一大笔钱来打赌。[80]”1957 年 1 月 19 日,在听到吴健雄的实验结果后他说,“在我读李和杨的论文时,我是不相信宇称是不守恒的。[81]”

前面提到过,弗劳恩弗德和亨莱曾经指出,宇称守恒很快就变成了一头圣牛。他们稍后又补充说,李和杨的建议被“多数物理学家所拒绝”。他们还讲了一个有趣的故事。“例如,费曼(R.P.Feynman,另一位诺贝尔奖得主物理学家)和拉姆瑟(N.F.Ramsey)打赌 50 比 1 美元认为宇称是守恒的。结果费曼输了。[82]”李教授也说,弗利克斯·布洛赫(Felix Bloch),另一位诺贝尔奖得主,要与斯坦福物理系的同仁们打赌他的帽子(吃掉他的帽子),认为宇称是守恒的。他后来对李教授说,真是幸运他并没有帽子。[83]

认为宇称是守恒的,这一想法在 1957 年以前写的教科书里都是这样说的。即使我们并没有检查过每一本教科书,但我们看到过大量的教科书,可以说每本在 1957 年前写的粒子物理、核物理以及量子力学教科书都说宇称是守恒的。我们可以举海利代(Halliday)的“核物理导论”中的典型的论述,这本教科书在 50 年代曾被广泛使用。尤其是,我们要补充说明的是,这本教科书曾被吴健雄教授用来做她在哥伦比亚大学核物理的教科书。

---

[80] W.Pauli,引自 Jeremy Bernstein. A Comprehensible World. NewYork: Random House, 1967.59

[81] W.Pauli. B. Maglich. ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973.122

[82] Frauenfelder, Henley. Nuclear and Particle Physics, Reading, Mass.: W. A. Benjamin, 1975.389

[83] T.D.Lee,私人通信。

“宇称的特性是有趣的，因为有宇称守恒定律。这个定律说明，一个孤立的系统的宇称不能变化，不管在它里面发生什么变换或重组。例如，假定一个在激发态的核是由偶宇称波函数来描述的。假如它发射出伽马射线并降到较低的态，“反冲核+伽马射线”的系统必定继续具有偶宇称。这给伽马射线发射过程加上了某种限制；宇称守恒，换句话说，导致了某些选择规律。要指出的是，上述核的宇称可能变也可能不变。对于放射衰变过程和核反应受到类似的宇称限制。”[84]

下一个要考虑的问题是这一发现是不是立刻就得到了物理学界的认可。前面我们已经看到，李和杨在1957年就得到了诺贝尔奖，这说明他们的发现立刻为大家所接受。更进一步的证据是在1957年1月15日，哥伦比亚大学物理系召开了一个没有先例的新闻发布会来宣布这一发现。在发布会上，拉比教授(I. I. Rabi)，他自己也是诺贝尔奖获得者，说：“在某种意义上，一种相当完善的理论结构已从根本上被打碎，我们不知道，这些碎片将来如何能再聚在一起。”[85]当泡利收到实验结果的预印本的时候，就是他也立刻接受了这一结果。在给韦斯柯夫的另一封信里，他写道：

“现在，在第一轮冲击过去之后，我开始整理我的思想。是的，这是非常戏剧性的。在21日，星期一，晚8点。我准备要做一个有关中微子理论的讲演。5点钟的时候，我收到了三个实验报告(吴健雄，莱德曼和泰勒格第的)。……上帝是左撇子这一事实并没有使我十分震惊，可是令人震惊的是，当他强烈表现他自己时，却仍然表现出是左右对称的。简言之，现在现实的问题是：为什么

---

[84] David Halliday. Introductory Nuclear Physics. NewYork: Wiley, 1955.38

[85] I. I. Rabi，引自 J. Bernstein. A Comprehensible World. New York: Random House, 1967.58

强作用是左右对称的呢?”[85]

在1957年1月末举行的美国物理学会的年度会议给予了更多的支持。由于会议的节目在几个月之前就准备好了,显然没有时间把宇称不守恒这一新发现放进原先的节目里去。因此就安排了一个截止期后的专场报告会,在这个会上,杨,泰勒格第,莱德曼和吴健雄做了发言。物理学会的秘书,达罗(KarlK.Darrow)博士对这次会议做了如下的报导:

“更令人吃惊的是,这是报告截止期后的工作的专场会议所创造的历史上最高惊人记录。那次会议,就在星期六下午,在通常我们安排的那个最大的报告厅,被那么多听众占满,以致某些会员用尽除了把自己吊在吊灯上以外的方法而挤在里面。这是因为黑板和谣传已把消息传开,说截止期后的某些文章将要报导宇称不守恒的问题,而这一问题早在两周之前已经闯进了公众的视野。”[87]

到了学会春季会议时,宇称不守恒已经确立,会议安排了这一个专题的学术报告会,由李、吴、伽温、泰勒格第和克劳(K.M.Crowe)做报告。

宇称不守恒的发现对物理学家当时所做的工作也有戏剧性的影响。我们前面已经讨论过接下来所做的那些为了证明宇称不守恒的实验(见本章节注[61])。苏里万(Sullivan)等[88]曾经十分仔细地研究了这一个问题。他们报告说,紧接着在这一发现之后,1957和1958年,在弱相互作用领域里发表的理论论文有了大幅度的增加。在实验论文方面没有类似的现象,但是这是可以理解的,因为做实验有更多限制,诸如经费和设备的建造等。然而,假如我们来

---

[86] W.Pauli,引自 Jeremy Bernstein. A Comprehensible World. NewYork: Random House, 1967.60

[87] K.K.Darow,引自 Jeremy Bernstein. A Comprehensible World. NewYork: Random House, 1967.61 以及 Bull.Am.Phys.Soc.,1956~1957.2

[88] Daniel Sullivan, D.Hywel White, Edward J.Barboni.Soc.Stud.Sci.,1977,7:167

看一看有关各种弱相互作用问题的实验论文的百分比,就会发现,在 1958 和 1959 年大约 60% 的论文是关于宇称以及与此紧密有关的领域的,如弱作用的 V－A 理论。[89] 怀特(White)等也指出,宇称不守恒的发现引起了在弱相互作用领域很大的人口统计学方面的变化。进入这一领域的实验和理论物理学家的人数,按照他们的第一篇文章发表的时间,在 1957 和 1958 年有了很大的增长。[90] 他们的说法,对于那些“短期旅客们”(他们发表的有关这一领域的全部论文少于三篇)和那些“专业人员”(他们发表的有关这一领域的全部论文在三篇或者更多)都是对的。

教科书的情况也强有力地支持这一被物理学界所接受的发现。然而,教科书不能显示即时的效应,因为,一般来说,教科书需要较长的时间来出版,但它能够说明物理学界接受了什么。布兰查丘(Brancazio)给了一个典型的发现后的见解:

“镜像对称原理曾经为物理学家不言而喻地所采用,从来没有产生过怀疑。但在 1956 年,有两位物理学家,杨和李,却指出,这一原理实际上从来没有用实验检验过。在短短的几个月里,三个不同的观察镜像破坏的实验就做出来了。”[91]

有关谁优先的争论,尽管不能作为这一发现的重要性的证据,但是谈一谈还是有意思的。尽管所有三篇论文都是发表在《物理评论》第 105 卷里,吴健雄和伽温的论文发表在 1957 年 2 月 15 日那一期,泰勒格第的文章发表在 1957 年 3 月 1 日那一期。头两篇论文收到的日期是 1957 年 1 月 15 日,第三篇论文收到的日期是 1

---

[89] Sullivan. Soc. Stud. Sci., 1977, 7: 180

[90] Sullivan. Soc. Stud. Sci., 1977, 7: 186 ~ 187

[91] Peter J. Brancazio. The Nature of Physics. NewYork: MacMillan, 1975. 684

为了对比在同一教科书里,在 1957 年前后,对同一问题的不同论述,请看 Leonard Schiff, Quantum Mechanics. Second Ed.. New York: McGraw Hill, 1955: 160 以及 Third Ed.. 1968: 253 ~ 254。

月 17 日。泰勒格第回忆这段故事说,[92] 他的信起初以不明确和有点混乱为理由而遭到了拒绝。但是这信后来却被接受而发表了,只不过加了一个脚注,"由于技术方面的原因,这封信不能够与伽温等人的论文一起发表在《物理评论》,105(1957),1415 的同一期里。"[93] 泰勒格第强烈地感到,拖延发表他的信是不公正的,于是他退出了《物理评论》的出版者美国物理学会,从此再也没有加入。然而,我们可以看到,有关这一段情节的全部历史,包括这一故事在内,证明了这三个实验是同样重要的。

《物理评论》的编辑塞缪尔·高德斯密特(Samuel Goudsmit)对泰勒格第的声明的回答是相当有趣的,因为它使人们认识到这样一个重要的实验被接受的本质。在说明了出版的技术困难之后,高德斯密特说:

"泰勒格第博士所说的障碍完全是另一回事。仔细研究他的信可以看出,在他递交他的信的时候,他的工作还没结束。他在 1300 个事例中,有 0.062 ± 0.027 的不对称,就是(690 - 610)/1300,相差的标准偏差为 35。效应仅稍大于两个标准偏差。这一点与其他两篇论文中所提供的毋庸置疑的证据,尤其是在图表里清楚地所显示的,形成鲜明的对比。小于三个标准偏差的效应,在这样重要而精细的实验里是十分不够的。

"最近的一项非常类似的实验就是 1966 年哥伦比亚大学—石溪纽约州立大学有关 η 介子衰变的工作,得出的是在 1441 个事例中有 0.072 ± 0.028 的不对称。这项实验被广泛地认为是电荷共

---

[92] V.L. Telegdi. B. Maglich. Ed.. Adventure in Experimental Physics. Princeton: World Science Education, 1973(γ):134 ~ 135

[93] 本文所引的脚注见 Friedman, Telegdi. Phys. Rev., 1957, 105

轭不守恒的证据[94][95]。后来的一些实验表明在 η 衰变里没有不守恒。

"在提交之后几个星期,泰勒格第博士在校对他们的论文校样时补充了一项说明,指出总共2000个事例给出了 0.091 ± 0.022 的不对称,即 $(1091-909)/2000$。这是非常重要的。然而,要指出这700个补充事例一定表示出非常大的不对称,也就是 $(401-299)/700$ 或 0.146 ± 0.039,原来的是 0.062 ± 0.027。这样大的统计错误(27%~43%)肯定地证明了原来提交发表的数据是初步的。"[96]

当然,事后看来,按高德斯密特的意见,对所提供的支持宇称不守恒的证据进行检查是妥当的。泰勒格第教授给的结果是 0.091 ± 0.022 或4.14标准偏差(S.D.)效应。他的结果与对称结果相一致的可能性是 3.5×10^{-5} 或3.5/1000000。这当然是一个有说服力的结果。在吴教授的实验里,宇称守恒要求计数率在磁场上升时与磁场下降时的相等。如果我们看一看图3,我们可以看到两个计数率之间的差别大约是0.40。如果我们认为数据点的大小是衡量此点数据的误差的尺度,因为没有给出其他误差,我们得到其差别的标准偏差,大约是0.03。因此,我们就有13个S.D.效应。出现这种情况的可能性是非常小的,以至于在标准偏差汇编中没有列入。我们可以做一个比较,10个S.D.效应具有的可能性是 10^{23} 分之1.5。这显然是一个压倒一切的结果。伽温等人的实验结果,从统计上来看更有说服力。我们从图4可以看出,实验结果给出一个随着进动磁场的励磁电流而变化的正弦式变化的计

[94] C. Baltay, P. Franzini, J. Kim, L. Kirsch, D. Zanello, J. Lee - Franzini, R. Loveless, J. McFadyen, H. Yarger. Phys. Rev. Lett., 1966, 16: 1224

[95] 我们在此可以注意到,"标准偏差"这一术语是测量一项实验结果准确性的尺度。

[96] S. Goudsmit. B. Maglich. ed. Adventures in Experimental Physics volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973. 137

数率,而宇称守恒会要求计数率应该是平的。伽温报告说,那里有22个S.D.效应,并写道:“我们感到十分高兴,获得了这一即时而不含糊的结果。”[97] 当莱德曼看到这一结果时,他在早上大约7时打电话给李政道宣布说:“宇称已经死了。”[98]

这样,至少从统计学上,最初三项实验所提供的宇称不守恒的证据,是无可怀疑的。纵然许多物理学家在那个时候还在估算可能性,但是只要去看一下那些数据的确也就够了;很显然,物理学界接受宇称是不守恒这一点当然是一个正确的决定。

我们相信,我们已经提出了令人信服的证据,说明吴健雄、安布勒(Ambler)、海瓦德(Hayward)、霍布斯(Hoppes)和赫德逊(Hudson),以及伽温、莱德曼、及温瑞奇(Weinrich),及费雷德曼和泰勒格第等人的实验,实实在在是“决定性”的实验。在短短的时间里,他们为物理学界毫不含糊地对两种理论——宇称守恒和不守恒做出了选择。然而,我们必须指出,这些实验并没有在同一类中互相竞赛的理论中做出决定,因为有关这些物理现象的详细的理论后来才发展出来,而只是在两大类之间做出了决定性的选择。

现在我们留下有关这两个早期实验的问题[99],它们有可能提供了宇称不守恒的证据,但是却没有做到,因为不仅宇称不守恒问题没有提出来与实验相联系,甚至连这些实验本身最后都被忘记了。由于这些实验的物理和逻辑的内容基本上与后来的某些实验是一样的,很清楚,一个实验是不是具有决定性这一点还要取决于

---

[97] R. Garwin. B. Maglich. Ed.. Adventure in Experimental Physics. Princeton: World Science Education, 1973(γ): 137

李政道.弱相互作用的历史.哥伦比亚大学,1971,10:16~17

[98] T. D. Lee. Ref., 22:15

[99] R. T. Cox, C. G. Mcllwraith, B. Kurrelmeyer. Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A., 1928, 14: 544

Carl T. Chase. Phys. Rev. 1930, 36: 1060

实验本身以外的其他因素。我们将在下一节里来详细地讨论这一个问题。

3.宇称不守恒的未发现

在上一节里我们指出了由考克斯(Cox)等人和查斯(Chase)完成的两项早期的实验,“β射线束流里的明显的极化证据”[100],“金属对快电子的散射 II:直角双重散射所导致的极化”[101],至少回头看来,它们是提供了弱作用中宇称不守恒的证据。[102] 即便对这些实验结果的异常之处的确实本性并不清楚,但这些异常结果的本性似乎已经相当清楚了(稍后我们会提供有关的证据)。然而有一件事是无疑的;那就是这些结果与宇称守恒的关系并没有被任何一位当时的物理学家,包括实验作者本人在内,所发觉和了解。在探讨这一问题的原因之前,来比较详细地探讨一下这些结果是什么,怎样得到它们的,它们是不是真正提供了宇称不守恒的证据等问题是值得的。

做这些实验原本的目的是显示电子波的矢量本质。这起始于1923年德布罗意(de Broglie)的设想[103],那时刚刚发现光具有粒子和波的双重特性,因而我们通常会想到粒子会不会显示波动特性。这一点,在1927年,在电子对于晶体的衍射的实验中得到了绝好

[100] R.T.Cox,C.G.Mcllwraith,B.Kurrelmeyer.Proc.Natn.Acad.Sci.U.S.A,1928,14:544

[101] Carl T.Chase,Phys.Rev.,1930,36:1060

[102] L.Grodzins.Proc.Natn.Acad.Sci.U.S.A,1959,45:399 对此有极好的讨论。

[103] L.de Broglie.Compt.Rend,1923,177:507
L.de Broglie.Compt.Rend,1923,177:548
L.de Broglie.Compt.Rend,1924,179:39
L.de Broglie.Phil.Mag.,1924,47:446

的证实。这项实验是由戴维森(Davission)和盖莫(Germer)做的。[104] 随后乌仑贝克(Uhlenbeck)和高德斯密特把电子波与电子自旋的概念结合起来,用它来解释原子谱的某些特性。[105] 随后达尔文(Darwin)解决了矢量电子的数学问题。[106] 考克斯和他的合作者设想,在一项实验中,电子的双重散射能够给这理论提供证据,类似于与光和X射线有关的实验里,第一个散射极化了光,而第二个散射可以成为一个分析器。

"在戴维森和盖莫的已成为经典的实验中[107],被晶体衍射的电子是德布罗意和薛定谔相位波的直接的实验证明,使人们想到,用电子束来进行类如光的极化实验可能很有意义。由康普顿[108] 提出的用来解释β衰变的雾状径迹(fog-track)的系统曲率(systematic curvature)的电子自旋假说,近来它又被乌仑贝克和高德斯密特恰当地引进到原子谱理论中去[109],人们期望,与光学实验的横向矢量相类比,电子自旋可能在这种实验中显示它的效应。这一想法近来由达尔文作了进一步发展。"[110][111]

虽然要在这个实验里去观察的这一效应的一般本质已经从光

---

[104] C. Davission, L. H. Germer. Phys. Rev., 1927, 30:705
这里我们要指出,这一项试验,与汤姆逊(G. P. Thomson)的工作一起,都可以看做是至关重要的实验,详细讨论这一问题已不在本文的范围以内了。

[105] G. E. Uhlenbeck, S. Goudsmit. Nature, 1926, 117:264

[106] C. G. Darwin. Proc. Roy. Soc. (condon), 1927, 116(A):227

[107] C. Davission, L. H. Germer. Phys. Rev., 1927, 30:705

[108] A. H. Compton, X-Rays and Electrons. Van Nostrand. 259
这是考克斯引用的参考文献。较早一点的参考文献是 A. H. Compton. J. Franklin Inst., 1921:145,由乌仑贝克和高德斯密特引用。

[109] G. E. Uhlenbeck, S. Goudsmit. Nature, 1926, 117:264

[110] C. G. Darwin. Proc. Roy. Soc. (London), 1927, 116(A):227

[111] R. T. Cox, C. G. Mcllwaith, B. Kurrelmeyer. Proc. Acad. Sci. U. S. A., 1928, 54:544

学类比得到了解，但这一效应的详细计算直到 1929 年才由莫特完成。[112] 莫特知道电子的双重散射是去观察自由电子的自旋的少数方法之一，直接的观察由于技术的缘故而失败。莫特的讨论对于有关的物理是非常有用的，即使当时考克斯及其合作者并未得知（查斯是知道的），我们来分析一下莫特的讨论是值得的。李·格劳金斯教授（Lee Grodzins）是第一位认识到这些早期实验的意义的人，他把莫特关于初始未极化的电子束流的散射的讨论总结如下。

"在 1929 年，莫特指出，库仑散射中的自旋轨道耦合可以用作电子自旋的极化器或分析器。自旋轨道耦合在电子的能量是相对论性的时候是最大，散射体的 Z 大时，引起的散射角就大：大多数计算考虑的是 $Z \cong 80$ 的核引起的 90°的单次散射。莫特的双重散射见图 5（本文），第一步，未极化的相对论性电子束被极化，然后被非常薄的 Z 大的散射体散射两次；$\bar{n}_1$ 是从源到散射体 1 的方向上的一个单位矢量，$\bar{n}_2$ 是在散射体 2 方向上的一个单位矢量，$\bar{n}_3$ 是探测器方向上的一个单位矢量。在截面中的自旋轨道项的形式是 $\bar{\sigma}\cdot(\bar{n}_1 \times \bar{n}_2)$，因此只有垂直于散射表面的自旋受到作用。在 $\bar{n}_2$ 方向的被单次散射的束流将部分地在 +X 方向发生极化。在第二次散射中，截面中的自旋轨道部分 $\bar{\sigma}_{+x}\cdot(\bar{n}_2 \times \bar{n}_3)$ 将加到库仑项上，而 $\bar{\sigma}_{-x}\cdot(\bar{n}_2 \times \bar{n}_3)$ 将去减小库仑项，所以与在 0°位置相比较，源在 180°的位置时将观察到较大的计数率。比较在 90°和 270°的位置时的计数率，将观察不到有什么不同。"[113]

这里我们要指出，假如源是固定的而探测器是旋转的，也可以用同样的论点。现在我们将考虑，假如初始电子束流是纵向极化的（即自旋是或者沿着电子运动的方向，或者与运动方向相反）。

---

[112] N.F. Mott. London: Proc. Roy. Soc., 1929, 124(A): 425
N.F. Mott. London: Proc. Roy. Soc., 1932, 135(A): 429

[113] L. Grodzins. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1959, 45: 399～400

虽然莫特没有处理这种情况，但在了解考克斯和他的合作者以及查斯的实验结果上是极其重要的。β衰变电子的纵向极化存在的本身，就是宇称不守恒的证据。图2清楚地说明了这一点。这里我们将自旋看做电子自身的自旋，而不是核的自旋。让我们假定，电子的自旋方向与动量相反，一维镜像反射会改变自旋方向而不改变动量，因而镜像就会有与动量同一方向的自旋，清楚地显示出不同。这一纵向极化也可在双重散射实验里探测到。格劳金斯又给出了物理总结。

“初始纵向极化束流的双重散射也导致强不对称。然而，$\bar{\sigma}_{n1} \cdot (\bar{n}_1 \times \bar{n}_2)$项是零，所以在0°和180°的不对称是小的，主要效应在90°和270°位置观察到。[114] 第一个和第二个散射体都很薄的β射线的双重散射实验，由于散射体很薄往往只能发生单次散射，因此实验是很困难的。没有这种实验的报道。然而，实验家采用先将纵向极化变为横向极化然后利用莫特散射的办法，测量过β射线螺旋性(纵向极化)。因为小角度散射与自旋无关，转换可以由电场[115] 或由多重散射来完成。在后一种情况下，如果第一个散射体是厚的材料，最好是较低Z的材料，动量改变而自旋的方向不改变，在n_2方向的束流将沿x方向在n_1，n_2平面内横向极化(见图6(本文))。当束流被一个薄的高Z散射体作90°散射时，大的自旋轨道项将导致沿Y轴的强度不同，对于在90°和270°处的源，固定

---

[114] I. U. Anishenko, A. A. Rulchadze. Soviet Phys. (JETP), 1958, 33: 216

I. U. Anishenko, A. A. Rulchadze. J. Exp. Theor. Phys. (U.S.S.R), 1959, 33: 279

L. J. Tassie. Phys. Rev., 1957, 107: 1452

F. Gursey. Phys. Rev., 1957, 107: 1734

[115] Frauenfelder, Boabone, von Goeler, Levine, Lewis, Peacock, Rossi, Pasquali. Phys. Rev., 1957, 106: 386

Cavanagh, Turner, Coleman, Gard, Ridley, Phil. Mag., 1957, 2: 1105

的探测器测到的强度不同。……"[115]

有了这一物理背景,我们现在可以讨论这些较早的实验。考克斯和他的同事是这样描述他们的实验的。

"在我们的实验里,β粒子被两次作直角散射,进入盖革计数器。我们发现相对计数随着路径的初始路段和最后路段之间的夹角角度的变化而不同。由于后面会提到的原因,大多数观测是在270°和90°进行的,如图5和图6所示。在这两个角度的三段路段的相对位置的差异,与左手和右手直角坐标轴之间的差异是一样的(着重号是后加的)。"[116]

他们用一毫克镭作为β粒子源,用金来做靶的准直堵头。散射的β粒子用以铂针尖作电极的盖革计数器来探测,它们相当不可靠并且对本底电子也灵敏。

"探测器不光记录β粒子,而且也记录镭的γ射线打在仪器上而产生的光电子。γ射线的穿透本领很强,不得不放置大量材料来阻挡它,以致β粒子的路径要延长很多。……光电子的数目不能忽视,但是没有理由期望它们在记录大多数计数的两个位置上会有所不同。

虽然所提到的铂针尖电极是在几种不同类型的材料里选出的最好的一种,但还是远不能令人满意。它们通常在使用一或两小时后给出不一致的结果,不得不更换它。更有甚者,换了电极,计数不一致。此外,考虑到γ射线的影响的不确定性,看来要想沿着整个圆周去记录数据是不明智的。注意到这个问题,实验只在源在90°和270°时取数以证实早期的观察,即在90°时比在270°时得到的计数要少一些。"[117]

---

[115] L. Grodzins. Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A., 1959, 45:400 ~ 401

[116] R. T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A., 1928, 14:545

[117] R. T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A., 1928, 14:546

他们的实验结果在表1里给出。结果的加权的平均值给出了在90°和270°的计数率之比为0.91±0.1。但是,他们指出,他们的结果在多次实验里有极大的起伏。

“可以看出,大部分这些结果显示出前面提到过的显著的不对称性。其余的没有显示出超过或然误差的数量级的不对称的结果。所得结果之间的巨大发散需要有所解释,下面将对这一问题提出解释。同时,关于不对称的定性的证据提出几点看法。由于仪器在90°和270°的两个位置的设计是对称的,不对称的来源可能是由于仪器构造上偶然的不对称或者是由于电子本身的某种不对称。”[118]

他们随后检查了在他们实验里系统误差的可能的来源,诸如,放射源和盖革计数器没有准确对准中心,靶子的取向的某种不对称,仪器里可能的剩余磁场,电子在经过仪器里某些物质时被极化的可能性,检查结果把它们全部否定了。他们得到下列结论:

“应该指出,对于观测结果的几种解释的建议,如果接受的话,将在处理不同的结果的差异时带来更大的困难,不如接受下面那个假设,由于非对称的电子的双重散射而真正发生了极化。这一假设看来是目前最站得住脚的。”[119]

作者对他们的结果没做理论的解释,但建议说他们结果里的这种差异可能是由于他们的盖革计数器的效率对粒子的速度有所依赖而造成的。

“我们把所观测到的这种差异归咎于铂针尖电极的选择作用,某些针尖电极只记录了较慢的β粒子。与这一假定显然一致的观测是最近由瑞尔(Riehl)做出的。需要进一步假定极化也是有选择

---

[118] R.T.Cox et al.Proc.Natn.Acad.Sci.U.S.A.,1928,14:547

[119] R.T.Cox et al.Proc.Natn.Acad.Sci.U.S.A.,1928,14:548

的，这种效应仅仅在较快的 β 粒子中是明显的[120]。或许此处最简单的假定，就是只有在散射时能量没有损失的粒子发生了极化。”[121]

在检验这些结果的真实性和意义之前，值得去调研一下由考克斯教授指导的研究生，查斯所完成的后续的实验。查斯的第一个实验[122]开始用的仪器是与考克斯等人的很相近，主要不同在于靶是用铅而不是用金做的。他在早期得到的数据“与在他以前的三个实验有同样性质的不对称效应，是在同一方向，而且平均起来跟以前的实验结果具有同样数量级大小。”[123]然而，由于 γ 射线的本底很大，这在考克斯的实验里也出现过。查斯重新设计了他的仪器以减少本底，得到新的结果如下：

方位角	相对计数
0°	1.000
10°	0.977
180°	0.958
270°	0.969

误差小于 1%。

他陈述他的实验结果如下：

“可以看出，这里没有任何考克斯，马克阿埃拉斯(Mcllwraith)和库瑞梅耶(Kurrelmeyer)所怀疑的那种极化效应的迹象或者在巴克拉(Barkla)的 X 射线实验里的那种。……

”我们可以结论说，电子束没有因散射而极化，即使电子具有

[120] 我们要指出，根据现代理论和实验，电子的极化与 v/c 成正比，v 是电子的速度，c 是光速。

[121] R. T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A., 1928, 14:548

[122] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1929, 34:1069

[123] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1929, 34:1071

从镭E发出的β射线的高速度。在小心使实验装置对称和小心安装镭等之后,很难理解,考克斯,马克阿埃拉斯和库瑞梅耶的装置或者现在作者最早期的装置的不对称能够在那么大多数的多次运行取数里产生所观测到的效应。在作者的情况下,这一效应很可能完全是由于γ射线造成的,而在以前的情况下,不对称效应是由仪器的某些不对称造成的。……但在这里所讨论的最后的实验工作里,只有电子被单独记录下来,因此没有上述效应。也许应该指出,考克斯等的装置以及本文作者第一次用的实验装置,是在同一个车床上加工的,它们给出了相似的结果。"[124]

就在这个时候,莫特的第一篇关于电子散射的论文已经发表了,[125]它预期在0°和180°的数据之间不对称。查斯已经观察到这种不对称,他把它归结于路径的不同,而不认为是一种极化效应。

不过查斯仍继续他的工作,包括去查询文献,并指出

"所有慢电子的实验都给出了否定的结果,但某些快电子的实验证明有极化效应。现有的任何一种理论都预言电子的自旋矢量可能表现为类似电子波里的横向矢量,但只限于电子具有高速的时候。"[126]

随后他校验了盖革计数器对于电子的速度的灵敏问题,这一效应考克斯早些时已经指出过了(见上述)。他得出结论,计数器的灵敏度与计数器的窗以及所用的电压极为有关,正是这点产生了对他自己工作的某些疑问。

"从这篇论文所得的结果,似乎最近的一项工作(译者注:即查斯较早的论文)没有记录较快的电子。计数器的窗较薄,允许较慢

[124] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1929, 34: 1073

[125] N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1929, 124A: 425

[126] N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1929, 124A: 425
C. G. Darwin. Proc. Roy. Soc. (London), 1929, 116A: 227
Carl T. Chase. Phys. Rev., 1930, 36: 984

的电子通过。由于记录电子数目的增加，允许计数器在较低的电压运行，可以得到较多的一致的结果，但只记录了较慢的电子。……如前所述，说明了需要对我们所做过的实验做进一步的工作。”[127]

考虑到使用盖革计数器所带来的困难，查斯继续进行他的工作，不过这次他使用了一个验电器来做探测器。[128]他的结果列在表2。他提供了在90°的计数与在270°的计数的比率，结果 = 0.973 ± 0.004。他结论说：

“下面是对现在的实验要说的话：在90°和270°计数之间的不对称总是能观测到的，这在以前这是决不可能的。不光是每一次单独的运行，而且甚至每次运行的所有读数，只有少数例外，都显示了这一效应。一个很有趣的检验，把原来曾经给出否定结果的装置又重新装起来[129]；使用的那些计数器还是原来的，在低电压运行，和以前一样还是得到否定的结果。但如果提高加在计数器的电压，高得足以可使铂针尖在一或二小时内烧坏，这一效应非常容易出现。别的都不变，只改变加在计数器上的电压，这一效应就能够被强化或抑制。”[130]

我们可以顺便指出，在这个实验里查斯提供的比率在180°的计数与在0°的计数之比 = 0.987 ± 0.003。这一次他把它归咎于莫特散射效应。现在我们可以来讨论这些结果的意义了。实际上，如果我们接受考克斯等人的结果和查斯的最后结果，认为它们是正确的，正像我们以前讨论过的那样，我们可以得出结论说，这些实验给出了β衰变电子的纵向极化的证据，从而也就是弱相互作

---

[127] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1930, 36:987

[128] Carl T. chase, Phys. Rev., 1930, 36:1060

[129] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1929, 34:1069

[130] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1930, 36:1064

用中宇称不守恒的证据。

要考虑的第一个问题是，这些结果在统计上是否有意义。我们记得考克斯等人提供了 0.91±0.01 的不对称，这通常可认为是相当强的统计的证据。然而，如果我们看一看表 1 中的数据，就知道那里的结果有很大的起伏，而不对称是由一些低的结果所决定。考克斯的论文也提出了对于结果的统计可靠性或有效性的某些疑问，指出“应该承认，在许多情况下概然误差是从太少的数据算出的”。[131] 不管这些保留，我们应该仍把这些结果看做是有启发意义的。然而这些论点不适用于查斯的结果。他提供了一个 0.973±0.004 的不对称，很清楚，这在统计学上是有意义的。正如前面我们所看到的，查斯的结果也是很自洽的，不但几乎每一次运行都得到不对称的结果，而且几乎每次取数都是如此。这里我们注意到，在十次运行中有七次(包括一次 90°的结果和一次 270°的结果在内)在平均数值的一个标准偏差之内，两次是在 2 个标准偏差之内，而只有一次结果是在 5 个标准偏差之外。因而，我们可以结论说，至少从统计学的角度来看，不对称是成立的。

然而，这里还有一种可能影响结果的系统效应，其中有一些我们在前面已经提到过了。我们首先考虑考克斯等人的实验。第一个问题是盖革计数器运行性能的巨大的起伏。这种不稳定，其中包括某些计数器只对慢电子灵敏，事实上会减少不对称效应，因为极化效应对快电子来说是比较大的。这里还有一种可能性，即源、计数器或者靶的准直有问题。实验者报告说，这些部件在实验过程里经常移动和置换，并指出“看起来偶然的错位不可能会在同一个方向对观测发生影响”。[132] 他们还讨论了一种可能性，杂散的磁场可能影响电子的自旋或者电子是因经过仪器里的其他物质而极

---

[131] R.T.Cox et al.Proc.Natn.Acad.Sci.U.S.A.,1928,14:547

[132] R.T.Cox et al.Proc.Natn.Acad.Sci.U.S.A.,1928,14:547

化。他们指出,不仅不大可能发生,并且在一项辅助的实验里,在没有上述这种物质的情况下,还依然要求“电子具有一种确定的极性,这是为了解释观察到的双重散射所要求的”。[133] 看来没有理由不接受他们的陈述,说“要接受(这些解释)会在考虑这些结果之间的许多矛盾时带来更大的困难,还不如接受一种假设,认为由于不对称的电子的双重散射使我们得到了真正的极化”。[134] 类似的争论也可以应用于查斯的实验里的可能的系统效应上。

然而,这里仍然还有一些问题,我们只能用稍后的理论和实验工作所提供的看法去检查。[135] 我们回忆了较早时期有关纵向极化电子束双重散射的讨论。相对论性电子首先被一个厚的、低 Z 的靶散射,接着又被一个薄的、高 Z 的靶散射,这将产生一个 90°—270°的不对称。这个实验是在 50 年代由几个小组做的,[136][137] 他们都观测到了明确的不对称(6%及以上)。

考克斯等人和查斯的实验,情况有所不同,而格劳金斯再次提供了出色的分析。

“在考克斯等和查斯的实验里,β射线两次经过被厚的铅和金散射体 90°反射。上述争论总结成两点。第一,$\bar{n}_2$ 束流在(见图 6)将因在第一个靶上的重复散射(Plural Scattering)[137] 而轻微地去极化(阿利哈诺夫(Alihanov)曾指出有小的效应[136])。第二,观察到的

[133] R.T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1928, 14:548

[134] R.T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1928, 14:548

[135] 见 L. Grodzins. R.T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1959, 45:399 的一些有价值的讨论。

[136] A. de Shalit, S. Kuperman, H.J. Lipkin, T. Rothen. Phys. Rev., 1957, 107:1459; Phys. Rev., 1957, 109:223
A.I. Alihanov, G.P. Elliseev, V.A. Liubimov. Venice – Padua Conference, 1957

[137] J. Heintze. Z. Phys., 1958, 150:134

[137] 重复散射(Plural Scattering)是用于经过一些,而不是很多次,小角度散射而形成的大角度散射的一个术语。

不对称应较上面所引用的最近的数据要小得多,因为在厚的第二次散射体内的多重散射是与自旋无关的。然而这些相同的近来的实验强烈地争辩,认为仍然可以观察到可测量的效应。在前面所提到的三个实验里,第二个散射体对于所用的散射角度而言是很厚的,致使观察到的效应主要是从重复散射产生的(见卡凡那夫[138])。……这样,在横向极化电子的重复散射里观测到了大的不对称。众所周知,重复散射在厚靶散射中占主要地位,在考克斯和查斯的实验里应该观测到可测量的效应。"[139]

这里还有一个与考克斯和查斯实验结果有关并且使人很迷惑的问题。格劳金斯在他最早的工作里[140],得出结论说这两个实验的确表明了90°—270°的不对称,因而能够证明宇称不守恒。格劳金斯在稍后发表的一篇文献里[141]指出他的较早的分析是不正确的,因为两个实验在90°比在270°得到了较少的计数,而现在的理论预期在90°有较多的计数,因此考克斯和查斯都得到了正负符号错误的效应。他们的错误被跟随格劳金斯工作的麻省理工学院物理系大学四年级学生希尼·奥托曼(SidneyAltman)所做的实验确认。我们自己的理论分析以及对后来各实验结果与考克斯和查斯实验结果的仔细的比较,确认由考克斯和查斯所提供的不对称的符号的确是不对的。然而格劳金斯结论说,纵然已发表的不对称的符号是不对的,但是考克斯和查斯的的确确做了一个正确的实验。

"我一直认为查斯和考克斯作了一个正确的实验,但是在进行研究和记录时符号改变了。……考克斯是把他的角度标错了吗?

---

[138] Cavanagh et al. Phil. Mag., 1957, 2:1105

[139] L. Grodzins. R. T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1959, 45:401

[140] L. Grodzins. R. T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1959, 45:399

[141] L. Grodzinsin. B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973. 145 ~ 160

他是用了一个右手坐标系统而不是用左手系统去表示他的数据吗？如我想象，假如他做了这样一个失误，那么这一错误无疑地会保存在后来的论文中。这些错误的发生既不困难也不特别罕见。许多研究人员，至少以前有一位科学史学者曾经犯过类似的错误。”[142]

我们要指出，我们最初的分析和格劳金斯所犯的错误是相同的，因为我们也相信查斯和考克斯所报告的不对称是正确的。然而，我们关于这一点有较多的证据。考克斯教授不知道格劳金斯后来的分析，即使他自己的回忆也登在同一卷杂志里，但他没有机会去回应它。他自己对这一问题的回忆如下。

“许多年之后，当格劳金斯认为麦克阿埃拉斯，库瑞梅耶和我首先观察到了宇称的破坏，我感到十分惊讶。当他在随后的一篇文章里写道，在β射线的重复散射里的不对称，如我们论文里所描述的，是与杨和李预期的方向相反，我也感到同样惊讶，当然我也很失望。……在我们的文章印出来以前，我不知道在理论预期的不对称与麦克渥斯，库瑞梅耶和我以及查斯报告的不对称之间的矛盾。

“格劳金斯在他的论文里表达了这种意见，说我们（或者我要说，我，因为我想我们发表的论文主要是我写的）在实验观察和发表的记述之间犯了一个过错。他认为我们所发现的不对称在某种意义上就是理论的预测，但是在描述实验时，我偶然地将它弄颠倒了。初看起来，至少，这不太可能。但另一种解释把问题归咎于持续的仪器的不对称，看起来也是不太可能的，因为我们频繁地移动盖革计数器去更换它的电极（早些时麦克阿埃拉斯，库瑞梅耶和我使用寿命较短的计数器的时候是需要这样做的），我还想起了其他

[142] L. Grodzinsin. B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973. 160

的改变,就是查斯用不一样的仪器来替代我们的仪器。

"我曾经对这一问题想了很多、很长时间,无论从那一方面都没得出结论。"[143]

虽然考克斯教授没有提出结论,我们发现他在他的信里以及在他的发表的文章里反对把问题归结于持续的仪器的不对称,是令人信服的。这里我们顺便指出,结果的正确与否是对于我们的进一步讨论无关紧要的。正如我们将会看到的,没有人再做过相似的实验或者认识到结果的重要性,它们的精确性从未遭到怀疑。我们还要指出,两个实验都显示出了极化对于速度的依赖性,现代理论已经预言并观测到了这种依赖性。考虑到上述的争论以及关于上面给出的统计的正确性和系统误差的讨论,我们必须同意考克斯教授关于他自己以及查斯的那些实验的结论。

"现在看来,我们的和查斯的那些实验,是首次显示了在弱相互作用中宇称是不守恒的。"[144]

然而,这并不是1930年物理学界的反应。虽然这些结果是作为异常的事情偶尔被提到,在电子散射的文献里,无论是论文作者抑或是别的人都绝对没有认识到它们对于宇称守恒问题的重要性。库瑞梅耶教授指出,"我们对宇称的理解,几近于零。甚至这一名词在1927年的时候还未采用,[145] 要知道这一实验是在1925年计划做的,而我们没有一个人是理论家。"[146] 考克斯教授,在讨

---

[143] R.T.考克斯私人通信。考克斯教授在随后的一封信里告诉我们,根据我们的分析,他现在相信他做了一个正确的实验但在坐标系统里却有失误。

[144] R.T.Cox,L.Grodzinsin.B.Maglich ed.Adventures in Experimental Physics,volume γ.Princeton:World Science Education,1973.149

[145] 我们应该指出,维格勒关于宇称守恒的论文直到1927年还未发表。实际上宇称这个名词在那个时候还未采用。但是,我们并不准确地知道这个名词是于何时出现的。

[146] B.Kurrelmeyer,私人通信。

论物理学界的反应时,指出:“我应该说这些实验普遍地被忽视了,”[147] 并补充说,“在 1957 年以前,我们的工作总的说起来不为人所接受,不为人所相信,并且很少有人能够理解。”[148]我们可以在下一节里详细看到,考克斯教授的评价并不是完全准确的。

我们现在面对着一个问题。如果有人接受这种分析,就是考克斯等人以及查斯的实验的确证明了宇称不守恒,并且,虽然是极化核的 β 衰变以及 $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ 衰变的实验(见第 2 节)在 1957 年决定了宇称不守恒的问题,那些在 1957 年做的类似考克斯和查斯所做的实验也能起同样的作用。我们就遇到了一种情况,在两个不同的时间完成的同一种实验,在一个时期被视为无关紧要的,而在另一个时期却是十分决定性的。显然,并不仅是一个实验的物理和逻辑内容决定了它是重要或不重要。必须有其他条件,我们将在下一节里详细地加以分析。

4.原因是什么

现在,我们可以来看一看,为什么这些特别的实验曾经在一个时期是十分关键的,但却在另一个时间几乎完全被忽视。我们从研究考克斯等人的实验以及查斯的那些实验着手。如同我们前面曾经指出的,这些实验曾经很广泛地,虽然不是完全地,被物理学界所忽视。标准教科书对这一点的解释是,曾经有人用从热电子

---

[147] R.T.Cox,私人通信。

[148] R.T.Cox,L.Grodzinsin.B.Maglich ed.Adventures in Experimental Physics.Princeton:World Science Education,1973(γ):149

考克斯教授指出,事实上,这一陈述是编辑麦格里赫(B.Maglich)的一个编注,看来是传达了对物理学界的过分的责备,虽然这并不是他的原意(私人通信)。下一句话可以较好地看出他的观点。“只有从 50 年代后期新理论的框架和实验观测的观点来看,我们的结果才能够被理解。”

源发射出来的电子来重复做这类实验，而不是用从β衰变源发射出来的电子，因而没能显示出这效应，不再注意考克斯他们的实验。[149]“……作为一种新的方法，β衰变电子被换成由灯丝发射出的电子，效应消失了，于是每一个人都很满意。”[150]

下面我们将要看到，虽然这一点这里有些道理，但它却不是一种准确的解释。

考克斯教授自己的回忆是一个有用的起始点。

“对于其他物理学家对麦克阿埃拉斯，库瑞梅耶和我的实验的反应，(也包括对查斯同一问题的实验)我要说，这些实验被广泛地忽视。我想，出于几种原因，这也是可预料的。实验物理学那时的主导兴趣还是波谱学。在那时，我们年轻且不知名。我们报告的结果既没有确认，也没有否定那时人们很感兴趣的任何一种理论。”[151]

那时还没有特别的理论可以去解释这些早期的实验，而到1957年李和杨才提出了清楚的理论预言。考克斯教授自己是支持这一观点的。

“从我们的实验到吴，伽温和泰勒格第的那些实验已经过去了将近三十年，对我们的观测曾经有过许多疑问。当人们考虑在李和杨以前曾经盛行过的理论的时候，可以容易地理解这些疑问。可是我们的工作是在1957年以前，总的说来是不会被接受和相信的，而且很少能理解。只有从50年代新的理论和实验观测出发，

---

[149] 我们前面(第3节)讨论过，起始未极化的电子，犹如从热离子源里出来的电子一样，只能给出0^0—180^0的不对称。为了得到90^0—270^0的不对称，电子必须具有起始的纵向极化，就像从β衰变过程里发射出来的电子那样。

[150] H. Frauenfelder, E. Henley. Nuclear and Particle Physics. Reading, Mass.: W. A. Benjamin, 1975. 392

[151] R. T. Cox，私人通信。

我们的结果才能被理解。”[152]

根据本文在前面对于什么是至关重要的实验的定义，对于物理学界来说，它是一个能在两个或更多个理论或一类理论之间做出取舍的实验，如果没有这种理论背景，这个实验就不会被认为是至关重要的。更普遍地说，是理论背景决定着一项实验的重要性，当然也有一些明显的例外，如 X 射线的发现，有了一个实验观测，但没有以前的理论基础，却开拓了一个新的研究领域。因此我们可以理解，为什么早期的实验没有被认为是“至关重要的”。仍然令人们迷惑的是，所观察到的实验结果的异常，为什么没有促进人们在实验上或是在理论上去做进一步的工作，而不像 50 年代解决 $\theta-\tau$ 之谜那样，为什么这些实验结果最终被忽视了。

在详细研究这一原因之前，有必要，至少是简要地去看一下考克斯教授对物理学的风尚和各个作者声望的看法。虽然看起来毫无问题，即建立在以前的成就上的一篇论文的作者的声望，当然会影响到这篇论文所能得到的反应和接受程度，但是看来要把这一点作为对待这些论文的主要因素也是困难的。下面我们将会看到，实验结果曾被认真地对待，至少在当时有一阵是这样。我们应该还记得，20 年代末曾是物理学极其活跃和发展的年代，量子力学兴起，诸如薛定锷（Schrodinger），海森堡（Heisenberg），德布罗意以及其他科学家，对物理学的发展做出了极大贡献，他们那时相对说来都是年轻人。高德斯密特是这些先锋人物中的一位，也是电子自旋的发现者之一，在回忆他自己的工作时，指出了一件有趣的事。高德斯密特引用生化学家爱温·恰伽夫（Erwin Chargaff）的话，他轻蔑他自己领域的某些人，指出“在我们那个时候，这样的小人

---

[152] R. T. Cox, L. Grodzinsin. B. Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, volume γ. Princeton: World Science Communications, 1973. 149

物们制造了如此大的阴影,只能说明天色已经多么晚了。"[153]然而,高德斯密特继续说,"恰伽夫没注意到,小人物们也会在黎明的时候投下大的阴影。这种情形在20年代可以适用于我以及其他人们,正在物理学的黎明。"[154]很清楚,高德斯密特博士对于他自己的贡献是非常谦虚的,这句话只是表明那个时代的某种精神。我们还应该注意,在发表获诺贝尔奖的那篇论文的时候,李和杨虽然已经很有名气了,他们只不过29和34岁。

考克斯教授还指出,对他的工作之所以缺少兴趣,是由于波谱学被看做是实验物理学较为重要或更有意思的部分。虽然对物理学的时尚进行细致的研究超出了本文的范围,但我们简短地介绍一下考克斯教授的观点似乎还是有必要的。新兴的量子理论就是在波谱学里经过检验的。即使是关于电子自旋,其主要证据也是从波谱学取来的。托后克(H.A.Tolhoek)教授在他1956年发表的关于电子极化的总结文章里指出:

"尽管对这一领域有着本质的兴趣,电子极化的研究工作总归是没有进入到实验物理的主流,可能是因为物理学家,根据其他实验数据,已经在量子力学里对电子的自旋坚信无疑了。"[155]

然而,我们愿意提出一种看法,认为这些结果之所以被忽视,其主要原因是由于科学家在为了确认莫特的预言的努力中迷失了方向,即在一个自旋电子的双重散射中存在一个向前—向后(0°—180°)的不对称问题以及电子对核的散射(莫特散射)的普遍问题。下面我们将会看到,这个问题直到40年代,可能到50年代,仍为人所关注,困难是实验结果的一致性以及电子散射中微妙的和未预料到的效应。这些实验的困难也引导出了许多理论试图去修改

---

[153] E.Chargaff.Science,1971,172:637

[154] S.Goudsmit.Physics Today,1976,29(6):42

[155] H.A.Tolhoek.Rev.Mod.Phys.,1956,28:296

莫特的理论,去解释为什么没有预期的那些效应。值得去仔细探讨一下这段历史,不仅仅因为它能解释考克斯和他的合作者以及查斯的实验之所以被忽视,而且也是因为这也可以让我们仔细地去了解,物理学界是如何处理实验观测与理论之间的明显的矛盾的,而这理论由于其他实验和理论的原因被人们相信是正确的。我们这里也要指出,这段历史说明,某一种技术的进步,譬如说几百仟伏能量的电子加速器的发展阻碍了对这些早期实验结果的了解,而50年代技术的进步却使得对于反常的$\theta-\tau$之谜的了解更为重要。

如我们在前面指出的,在莫特1929年的理论计算以前所做的用电子双重散射去显示电子极化的实验,是建筑在类似光学散射的基础上的。在这里,第一个散射的作用是极化器,第二个散射的作用是分析器。我们可以总结这一情况,注意到,除去我们已做了很多的讨论的考克斯等人的实验以外,早期实验中没有一个给出过电子极化的任何证据。沃尔夫(Wolf)[156]想用让电子通过一个磁场使电子自旋排列起来让它们在金属表面散射而观测其极化,但是没有观测到效应。事实上,波尔(Bohr)稍后从理论上指出,这个实验不能给出任何正面的结果。[157]然而,鲁普(Rupp)[158]做了一个实验,与考克斯的非常类似(即用两个90°散射体),虽然在低能量(直到380伏)没有观测到效应。当他改变第一散射角为12°~14°时,他观测到在90°的结果与在0°和在180°的结果之间的不同,他把它归因咎仪器的效应,可是他对自己的解释并没有把握。约飞(Joffe)和阿森奈瓦(Arsenieva)做了一个类似的小角度的实验(10°

---

[156] F. Wolf. Z. Phys., 1928, 52: 314

[157] Bohr的意见见N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1929, 124A: 103

[158] E. Rupp. Z. Phys., 1929, 53: 548

~30°)[159],他们报告说,他们等于零的结果是与戴维森和盖莫[160]的初步结果是一致的,也与弗仑克尔(Frenkel)[161]理论计算一致,他声称已证明了想从金属表面反射的办法产生电子极化是不可能的。

1929年,戴维森和盖莫[162]详细报告了他们的工作。他们的实验包括了两个90°散射体,电子以10~200V的能量从镍晶体散射。他们的结论是,“我们的观测是,电子波没有被反射所极化”。然而,他们是第一批来讨论考克斯和他的合作者的工作的人。在指出实验安排大体相似之后,他们指出:

“但是在其他方面,这些实验是不同的。组成起始束流的电子是从一个镭的样品里发射出的β射线,反射体是多晶金片,而收集器是一个针尖放电电子计数器。实验者报告说,电子源和计数器之间的屏蔽物是不够多的,因而不能完全屏蔽由于γ射线产生的效应,加上由于放电针尖的特性的急剧变化,很难获得稳定一致的数据。他们发表的结果是由在‘平行’(0°或180°)位置上的一个收集器获得的电流与在‘横向’(90°或270°)位置上的一个收集器获得的电流的比率。对于‘横向’的两个电流的比率,这些比率中的第一个偏离了1,超过了可几误差,显示出偏向于极化。但是,实验者没有指出这一点。却强调第二个比率偏离1很少。”[163]

这里我们注意到,戴维森和盖莫对考克斯的结果没有提出疑问,但改变着重点去强调在0°和90°或270°计数之间的不同,这些数据从光学类比上看来与他们的期望比较一致。

然而情况变化得很快,在1929年,由于莫特发表了关于电子

---

[159] A. F. Joffe, A. N. Aresenieva. Compt. Rend, 1929, 188: 152

[160] C. J. Davisson, L. H. Germer. Nature, 1928, 122: 809

[161] J. Frenkel. Compt. Rend, 1929, 188: 153

[162] C. J. Davisson, L. H. Germer. Phys. Rev., 1929, 33: 760

[163] C. J. Davisson, L. H. Germer. Phys. Rev., 1929, 33: 771~772

双重散射的理论计算[164]。莫特的计算是直接以狄拉克的相对论性电子理论为基础[165],并作了在双重散射实验中会观测到不对称的明确的预言(见第三节的讨论)。他预言,当源在180°时,探测到的电子数要比源在0°时大。莫特还详细地说明了要观察到这种不对称的条件,即高速度电子从高Z核上产生的单个的、大角度散射。他还给出了一个公式,去预测效应的数量级大小,虽然他后来在1931年[166]和1932年[167]发表的论文里修改了这一公式,并提供了准确的数字结果。在这篇论文里,莫特特别指出,他的理论没有预见在90°和270°方向有任何不对称,如图5所示。

"所以,最大的不对称将在纸的平面里TM(180°),TM′(0°)方向找到。在通过T_1T_2(连接两个靶子的线)而垂直于纸的平面上的平面;散射对于T_1T_2是对称的。就在这平面里考克斯和库瑞梅耶曾寻找不对称,他们找到的不对称,肯定是由于其他原因产生的。"[168]

莫特在这里仅仅指出,他的理论预计第一次散射产生的极化,在第二次散射中形成0°—180°的不对称,不适用于考克斯的结果。看起来,他并不怀疑考克斯的结果的正确性。

30年代随后沿着莫特的研究的实验工作,有了不同的特色,原因是当时有了建立在大家接受的理论,即狄拉克的电子理论上的清晰的理论预计,可用它来比较那些实验结果。下面我们将会看到详细情形,公正地说,实验的情况相当混乱。我们曾发现某些实验找到了预期的结果,有些人作相同实验而没有得到预期的结

---

[164] N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1929, 124A:425

[165] P. A. M. Dirac. Proc. Roy. Soc., (London). 1928, 117A:610
由于这项工作,狄拉克获得了1933年的诺贝尔奖。

[166] N. F. Mott. Nature, 1931, 128:454

[167] N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 135A:429

[168] N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1929, 124A:431

果。然而，总起来说，实验结果倾向于不同意莫特的理论。[169] 理论与实验的这种差异，不仅促使实验工作进一步进行，而且使理论物理学家更努力去解释，莫特所预期的极化效应显然没有出现的原因。下面我们将会看到，这些努力是很不成功的。

最早讨论莫特的工作的文章，看来就是查斯发表于1929年的实验了。

“莫特刚发表了有关我的实验的理论，他考虑了由原子核引起的狄拉克电子的双重散射。这一理论，看起来还不十分完善，预计了在0°和在180°的计数会有区别。刚给出的数据表明，在0°比在180°所记录的电子要多，但这是因为在0°的位置记录的电子经过仪器的路径比较无障碍。”[170]

然而，查斯在他稍后的文章里看来并没有说已经观测到这一效应。

“作者早期的实验表明有这种效应，在0°位置比在相反的方向记录到的电子多4%。对于这一结果，不能做出什么结论，因为靶是靠得非常的近，看来有可能电子在0°位置比较容易通过仪器。现在靶的位置离开得较远了，但因为验电器的灵敏度的增加，束流的发散较以前减少，即使每秒通过的电子较少，仍可以工作。以前的异议不再存在。”[171]

鲁普借助莫特的理论，也继续他关于电子散射的工作。他的

---

[169] 莫特教授指出，“出奇的是，我没有想到，在寻找我预期的效应上早期的努力不成功，是由于β射线源的问题。我回想，当我1933年去不列斯都(Bristol)的时候，我为固体物理所吸引，我对这类事情极少关心。同时我对那篇特别的论文，也不那么推重。……在第一版中出了一些数字的错误，必须加以改正。然而，我记得，泡利读了它，喜欢它，并在他苏黎世(Zurich)的小组里给了我一个位子，但遗憾的是我未能接受，因为已经接受了其他工作。”私人通信。

[170] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1929, 24: 1073

[171] Carl T. Chase. Phys. Rev., 1930, 36: 1064

实验[172]包括了在掠射角(大约为 $1/3^0$)入射的电子的双重散射。他观察到莫特预期的随着电子能量的增加而增加的极化效应,在能量为 80 KeV 时在金靶得到了 11.8%的差别。由于他也没有观察到铍靶的散射效应,同样符合莫特的理论,鲁普声称已确证了莫特的理论。然而,查斯[173]正确地指出,莫特的理论只适用于大角度散射。鲁普因而改正了他的数字结果[174],但没有修改他的结论。我们还要指出,他的数据表明在 90°和 270°时有相同的散射。鲁普的结果,在福斯(Fues)和海曼(Hellmann)[175]的有关电子极化的理论论文里被认为是对莫特理论的一个确证。他们还指出,前面讲过的查斯 1929 年的结果,其中的解释是靠不住的,但没有注意到他后来的结果。

基尔区奈(Kirchner)[176]完成了一项与鲁普相似的实验,虽然他说观察到了某些不对称,但他没有给出数字的结果。然而,他却指出这些不对称不大于 10%,并指出实验数据远远不能否定莫特的理论。汤姆孙(G.P.Thomson)也想用经过两片金薄片的小角度散射来重复鲁普的结果。他得到了一个否定的结果,写道:“实验是与下列观点一致的,只有在大角度散射的情况下,才能用这些办法对极化进行探测。”[177]哈泼恩(Halpern)[178]在他对于鲁普的结果的理论解释里支持这个观点。他指出,准确地说,莫特的理论不能应用于鲁普的实验,并提出了他自己的两维光栅散射的理论,取代莫特的理论。但他也没有给出任何数字结果。鲁普继续做实验,这次

---

[172] E.Rupp.Z.Phys.,1930,61:158

[173] Carl T.Chase.Phys.Rev.,1930,36:1060

[174] E.Rupp.Naturwissenschaften,1932,18:207

[175] E.Fues,H.Heliman.Z.Phys.,1930,31:465

[176] F.Kirchner.Z.Phys.,1930,31:772

[177] G.P.Thomson.Nature,1930,126:842

[178] O.Halpen.Z.Phys.,1931,67:320

用的是更接近于莫特理论所要求的仪器[179]。他首先在90°用金反射体将电子散射，然后使束流经过一个金箔并把结果的图形照相下来。他又一次观察到不对称。鲁普和吉拉德(Szilard)在随后的实验里[180]进一步确证了这些结果，并提供了一些补充结果，利用磁场使电子自旋产生进动，结果与理论相符。

1931年莫特发表了一篇短文[181]，稍稍修改了他以前的计算并且也给出了数字结果。他简要地指出，戴梦德(Dymond)[182]完成了实验并发现了一个小了五倍的非常小的效应(我们稍后要来讨论戴梦德关于他的实验的全部报告)。

“在70 KV时的不对称大约要比戴梦德所发现的大大约5倍。很难解释为什么会这样。多重散射会减弱观察到的极化，但对于所使用的薄箔来说，不会有更多的多重散射。也不可能，狄拉克的电子理论，当用到由库仑场引起的散射时，会给出错误的结果，因为在同一个场里，关于一个电子的能级的结果是准确的。”[183]

就是这一个看法把问题正确地提了出来。如果莫特预期的这些效应没有被观察到，就会对狄拉克的电子理论产生某些疑问，而他的理论在其他情况下相信都是正确的。

由于鲁普进一步的实验，使实验方面的情况变得更混乱。他重复做从不同材料的箔产生的小角度的散射的实验，并又一次观察到不对称，虽然这一次他指出莫特的理论并不适用[184]。然而，他的下一个实验[185]合理地大致满足了莫特理论所要求的条件。电子

---

[179] E. Rupp, L. Szilard. Naturwissenschaften, 1931, 19:422

[180] E. Rupp, L. Szilard. Naturwissenschaften19, 1931, 19:422

[181] N. F. Mott. Nature, 1931, 128:454

[182] E. G. Dymond. Nature, 1931, 128:149

[183] N. F. Mott. Nature, 1931, 128:454

[184] E. Rupp. Z. Phys., 1932, 33:158

[185] E. Rupp. Z. Phys., 1932, 33:937

先在 90°被金箔散射而在 90°又被金线所散射。他得到了一个 0°—180°、电子能量为 130 KeV 和 250 KeV 的清晰的 3% ~ 4%和 9% ~ 10%的不对称,误差为 1% ~ 2%。然而,这些结果定量地与莫特预测在 127 KeV 的 15.5%和在 204 KeV 的 14%不相符合[186]。这一差异为稍晚时所做的较为精确的测量[187]所证实,给出的数据是在 130 KeV 时为 3.8 ± 0.5%和在 250 KeV 时为 9.6 ± 0.5%。鲁普建议,或许核本身的极化可能是重要的,可以解释这种差异,但他仍明确地认为缺少定量上的一致是一个严重的问题。

莫特进一步修改和校正了他的计算并在 1932 年发表的一篇文章里提出了数字的结果[188]。虽然他没有指出任何特别的实验结果,看来他清楚,理论和实验之间有矛盾。他强调维持他的理论所需的条件,也就是从高 Z 核产生的高速电子的单个的大角度核散射。他提出了其他一些可能产生极化电子的方法后指出:

“这些产生极化电子的方法自然是大大超越现在的实验技术。然而,理论上存在着这些模型,多少能够证明电子束是可以极化的;如果它们不能产生极化束,这将要求对今天的量子力学做彻底的修正。如果双重散射实验结果为负,则对量子力学要求作的修正要小得多。”[189]

虽然莫特清楚地相信,观察这些新预期的效应将是十分重要的,他指出双重散射实验的失败也会要求修改量子力学。

在这个时候,实验的状况很是如此混乱,所有的实验工作者都感到有责任稍为详细地去检查一下过去的历史。赛布德(Thibaud)等人[190]把以前的实验分为两个组。第一组的实验有的

---

[186] N. F. Mott. Nature, 1931, 128:454

[187] E. Rupp. Z. Phys., 1932, 79:642

[188] N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 135A:429

[189] N. F. Mott. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 135A:432

[190] J. Thibaud, J. J. Trillat, T. vonHirsch. J. Phys. Rad., 1932, 3:314

给出否定的结果,有的给出肯定的结果,但是都在结果等于零的实验误差之内。分在这一组内的实验包括考克斯等以及查斯 1929 年的实验,所给出的结果为零。他们没有提查斯随后给出的肯定结果,看起来令人惊讶,因为他们的确提到了以后的其他论文。第二组包括鲁普的实验,由于给出了肯定的结果,得到了赛布德和他的合作者的注意。但是,他们自己的实验并没有满足莫特散射的条件。他们做了单次小角度散射,然后经过薄金属箔的衍射,并没有观察到效应。

兰托斯(Langstroth)[191] 做了一个在 10 KeV 时,从厚钨靶上产生的双 90°散射,但没有观察到效应。因此他是与莫特的计算相一致,预计在这样低的能量下是不会有极化的。他对于其他工作的评论,清楚地表明了实验状况的混乱。

“然而,在非常高的能量下,在次级散射的强度分布里,存在着不对称,虽然证据是有些矛盾和不完整。……

“实验上的不对称分布,在小角度和大角度的快电子散射时曾经观察到过。所报告的效应的种类是完全不同的;显然随产生的方法不同而不一样。固体靶小角度散射,报告说观察到一种效应[192],但在经过薄箔产生散射时没有观察到[193]。此外,当固体靶和薄箔一起用时[194],观察到了一种更是不同的效应。另外一种不对称(在 90°—270°平面)第一次被考克斯等人观察到[195],但是后来归

---

[191] G.O. Langstroth. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 136(A): 558

[192] E. Rupp. Z. Phys., 1929, 53: 548
E. Rupp. Z. Phys., 1930, 61: 158
E. Rupp. Naturwissenschaften, 1930, 18: 207

[193] G.P. Thomson. Nature, 1930, 126: 842
F. Kirchner. Z. Phys., 1930, 31: 465

[194] E. Rupp. Naturwissenschaften, 1930, 19: 109
E. Rupp, L. Szilard. Naturwissenschaften, 1930, 19: 422

[195] R.T. Cox et al. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1928, 14: 544

咎于仪器的缘故[196]。然而,最近,查斯报告说[197],这种类型的不对称是不存在的。最近,由专门的理论(莫特)所预测的一种小的这类不对称(大约2%),由戴梦德[198]在薄箔电子散射中观察到了。”[199]

这里我们注意到,查斯的结果被认为是正确的,但他们只是相互混乱的结果中的一个。

在对这些早期实验进行详细讨论之后,兰托斯想提出一些理由说明为什么莫特的理论不适用。

“考虑到实际的条件较之莫特的理论可能更为复杂,没有能对上述所有的实验提出一个即便是定性的理论指导,并不令人感到惊讶。这原因可能是:(1)从厚靶上散射来的束流的一大部分是由经过了一个以上的碰撞的电子所组成的;(2)理论模型的不足;(3)实验结果中包含有其他的效应。”[200]

兰托斯详细地讨论了这些可能的效应并指出了其他理论上的努力,如弗仑克尔[201]和哈泼恩[202]所做的那些,但没有得到任何结论。

对实验结果提出一致的解释,其困难随着戴梦德发表了前面我们提到的他的实验的详细情况[203]而在增加。戴梦德的仪器与莫特所要求的条件非常接近。他使用了能量为70 KeV的电子从薄金箔的双重90°散射。为了防止仪器或几何的不对称,他还取了20 KeV的数据,这里所预期的不对称非常小,从70 KeV的那些数

[196] C. Chase. Phys. Rev., 1929, 34: 1069
[197] C. Chase. Phys. Rev., 1930, 36: 1060
[198] E. G. Dymond. Nature, 1931, 128: 149
[199] G. O. Langstroth. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 136A: 559 ~ 560
[200] G. O. Langstroth. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 136A: 566 ~ 567
[201] J. Frenkel. Compt. Rend, 1929, 188: 153
[202] O. Halpen. Z. Phys., 1931, 67: 320
[203] G. Dymond. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 136A: 638

据里减去 20 KeV 的数据，去探测极化。为了进一步检查，他用一片铝箔替代金箔。实际上，莫特的理论预期从铝箔的散射几乎不引起极化，而戴梦德提出了一个 0.11 ± 0.10% 的极化结果，与零相容。戴梦德的从两个金箔出来的散射结果是 1.70 ± 0.33%。他的数据与理论相当符合而且是在理论预期的方向，即在 180°有更多的散射。然而，他非常担心，莫特的理论预期在这能量下有大约 10% 的极化，他的结果非常小，只有它的 1/6。对这样小的结果，他提供了一个可能的解释，即要考虑多重散射，因为有许多可能的大角度散射补充到 90°散射里去。然而，他指出：

“既然不能估计重复散射的影响，看来不能用它来弥补实验和理论值之间的差别了。”[204]

这一点我们在后面还会回来讨论。戴梦德还相信理论的计算是没有问题的。

“从理论的角度来看，不能认为较小数值可能是正确的。莫特指出，狄拉克相对论性波动方程式得到了在库仑场里能态的正确解，不至于在上面所讨论的问题上遭到失败。”[205]

对鲁普的结果和它们与汤姆孙和基尔区奈的结果之间的不同进行简短的讨论后，戴梦德得出结论，“……对于目前的证据，最终结论是它们与理论期望不一致。”[206]

令人感到兴趣，戴梦德对他的仪器进行了另一种检测，测量了 90°和 270°的散射，他不指望在这里会有不对称。他显然感到惊奇，他找到了 − 1.75 ± 0.98% 的极化，它表明在 270°处有较多的散射。然而，他指出，这些数据很不自洽，效应的符号每次运行都要改变。他重新使用了单个铝箔并得到了 + 1.97 ± 0.84% 的结果。

---

[204] G. Dymond. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 136A: 649

[205] G. Dymond. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 136A: 649 ~ 650

[206] G. Dymond. Proc. Roy. Soc. (London), 1932, 136A: 650

如果我们把铝箔的数据认为是它们给出了几何和仪器的不对称，那么我们就要从金箔数据里减去铝箔数据以得到正确的不对称。这样得的结果是 $-3.7\pm1.3\%$。虽然戴梦德没有做这个计算，但他显然很关心这些结果。

“从表Ⅲ我们会看到，平均差别只比可几误差略大，在一个箔是铝的时候，不对称比可几误差大两倍。单在表Ⅲ和Ⅳ所示结果就可以明显地得出结论，与理论的预测一致，在两个方位角之间没有真正的不对称。在0°—180°平面上的结果非常一致，那里没有一个相反的符号出现，使我相信，这里的不对称是真正存在的。不过，仪器在90°—270°的结果却令人困扰，因为没有理由能解释给出的结果。”[207]

这里更令人惊讶的是，戴梦德完全没有指出考克斯等人的相似的结果，或者查斯1930年的结果。他显然知道查斯的文章，因为他在早些时在他自己的论文里提到过0°—180°的效应，“查斯曾做过较高速度的电子(β射线)的实验，但没有找到明显的极化。”[208]这里我们可以指出，根据我们前面对于双重散射的分析(见第3节)，对于没有极化的热发射电子在实际上没有90°—270°的不对称。这效应只应该在使用β衰变的纵向极化电子时才能够观察到。因此，回顾起来，戴梦德对他的结果的正确性持怀疑态度是对的。

汤姆孙和鲁普继续他们的实验，汤姆孙再一次没能找到被金的90°散射后随即衍射的任何不对称。[209]另一方面，鲁普重复了他双90°散射实验，这一次他使用的是铊蒸气，而不是金箔。他再次报告发现了由莫特所预言的不对称的清楚的证据。虽然他的结果

---

[207] E.G.Dymond.Proc.Roy.Soc.(London),1932,136A:648

[208] E.G.Dymond.Proc.Roy.Soc.(London),1932,136A:639

[209] G.P.Thomson.Nature,1933,132;1006

仍低于理论计算，但它们较之以前金靶的结果，与理论计算较为接近。[210] 看来似乎鲁普使用铊蒸气是为了去检验他较早的假设，即核的极化是产生偏差的原因。准确地说，他也注意到，在金箔中多重散射要大一些并会压低金散射极化的数值。

大约在同一时间，索特(Sauter)[211] 用另一种方法重新做了莫特的计算，给出了同样的结果。他还考虑是否是原子的电子屏蔽了核从而消除了极化效应这一问题，他发现并不如此，但慢电子除外，预计不极化。

在1934年早期，情况变得更为复杂了，这时戴梦德发表文章全面否定了他在较早时候得的结果。[212] 他继续做他的实验，发现他得到的结果具有相反的符号并且随着电子能量的增加而增加。他在检查他的设备的时候，发现仪器有相当大的不对称。

---

[210] E. Rupp. Z. Physik., 1934, 88: 242

泼斯特(H. R. Post)教授友好地向我们指出鲁普实验的一个有趣的方面。1935年鲁普发表了一个声明(Z. Physik., 1935, 95: 801)，由于精神上的疾病他宣布撤回了5篇文章，提到了这一参考文献以及另一参考文献 E. Rupp. Z. Phys, 1934, 90: 166。包含一个医生报告的摘要的一个脚注指出：从1932年起，鲁普原因不明地患了一种精神病，使得他的梦中世界得以闯入他的工作。鲁普补充说，没有必要撤销他较早的文章。然而，这不是拉姆瑟(Ramsauer)所持的观点(Z. Physik., 1936, 96: 278)，他认为柏林小组在回顾鲁普较早的工作时做了检查，事实上，重复了他较早时候的电子极化的一些实验。他还提醒大家注意，在没有独立的证据时，使用鲁普的工作结果要小心，并建议鲁普某些工作的合作者们最好去检查一下他们的工作情形。有趣的是，在后来的文献里没有发现什么反应。我们要补充说，这一情况对我们讨论的问题，即莫特散射问题是科学家们没能去重新检查查斯和考克斯实验的最重要的原因，没有影响。鲁普的肯定结果，只是给有关的问题增加了困惑，下面我们就会看到，在30年代末，物理学界比较一致的意见认为在莫特理论和实验结果之间是有差异的。考克斯教授告诉我们，在30年代，他收到了通用电气学会研究所一位负责人的信，指出了鲁普的困难。他猜想这封信是寄给这领域的其他工作者的，但他没有记得写信者的名字或信的确实的内容，可能它与上面所引的拉姆瑟发表的信的内容相似。

[211] F. Sauter. Annln. Phys., 1933, 18: 61

[212] E. G. Dymond. Proc. Roy. Soc. (London), 1934, 145A: 657

“以前总是假设,任何这样的不对称与电子的速度无关;因而就可以用在高能量和低能量观察这一方法来消除。从这些实验看来,这并不永远是一个合理的方法。

“为了检验这一结论,多少过分地纠正了第一个胶卷的位置的误差,δ值(不对称)现在改变了符号。……在尽量精确地重新调整胶卷的高度后,得到了列在C中的数值。

“这样一来,显然是由于精确的调整,δ值就可以减小到零,而有意的失调可以产生正的或负的值。在测量中没有证据有大于1%的真的极化,没有理由去相信在Ⅰ(他以前的文章)里发现的在70 KeV时$2\delta=1.7\%$这一小的正的结果,不是由于刚才说到的小的调整的错误所造成的。”[213]

戴梦德接着考虑了理论与实验之间的差异的原因,即非弹性的、杂散的以及重复散射和核屏蔽。他引证索特的工作,否定了所有的这些,并结论说:

“我们不得不得出结论认为理论结果是错误的。但是没有理由相信莫特的工作是不正确的;……所以,看来也许理论与实验的差异具有更深的原因,为了要成功地解释没有极化,狄拉克波动方程需要修改。”[214]

戴梦德还指出了鲁普和汤姆孙的矛盾的结果,虽然他明显地怀疑鲁普的工作,但他没有给出结论。

汤姆孙也发表了对这一领域的综合性的评述[215],以及他自己的详细的结果,讲到单次的90°薄箔散射,随后经过一片薄箔的衍射;还讲到双重90°散射。在前者的实验里他没有发现鲁普以前发现的那种效应。在后者他发现了在0°与在180°,能量为100 KeV

---

[213] E. G. Dymond. Proc. Roy. Soc. (London), 1934, 145A: 662

[214] E. G. Dymond. Proc. Roy. Soc. (London), 1934, 145A: 666

[215] G. P. Thomson. Phil. Mag., 1934, 17: 1058

时0.996±0.01的计数的比率，而莫特的计算要求结果为1.15。汤姆孙指出，他的衍射结果是与理论预期相一致的，那里预计在小角度没有极化，但是指出，鲁普的效应都是在高能量下出现的。他认为，鲁普的实验中可能有散射电子的不均匀的本底，但注意到鲁普使用磁场的结果，是与理论一致的。汤姆孙评论了双重散射实验后指出，全部前面提到的实验，包括兰托斯，戴梦德和鲁普的实验，都用的是比较的方法，或者将他们的数据跟那些预期没有极化效应的在低能量下获得的或是用低Z核散射获得的数据作比较。他指出，由于大多数实验的结果是与莫特的预期不一致，用莫特的理论来分析数据这一事件本身就有问题。“……假如莫特的理论在某些方面是错误的，在其他方面就可能也是错误的，说铝比金会给出少得多的极化的假定就值得怀疑。”[216] 关于理论和实验之间的差异问题，汤姆孙关于他自己的双重散射实验的结论是相当清楚的。

“我们已经看到，在可几误差（我们可以假定为±1%）范围内，没有莫特理论所要求的那种极化。理论要求的14%的效应的确是不存在的。我知道，莫特的多数工作都被独立地检验过；但是除非计算里有某些错误，我们只能得出结论，狄拉克的理论是不适用于重原子的散射问题。看来外层电子不太可能造成散射的很大的差别，而几乎必定完全是由于核散射。……莫特计算的全部条件在这些实验里都满足了，但看来有可能，狄拉克理论在靠近金核的强场中不能成立，当然，大多数散射都是在那里发生的。也可能，具有相当能量的电子能够在这一区域里的媒介质里引起击穿而产生正负电子对，就像光量子那样。我所用的电子当然不能发生这种情况，假设狄拉克方程在大大低于击穿所需能量时失效，就不是不合理的了。然而，令人惊讶的是，这一效应恰好抵消了极化，而

[216] G. P. Thomson. Phil. Mag., 1934, 17: 1062

人们倾向去猜测，一个自由电子的极化也许是观察不到的。”[217]

汤姆孙简略地提到了考克斯等人以及查斯的工作，但只提1929年发表的。

“第一个快电子实验是考克斯，麦克阿埃拉斯和库瑞梅耶使用β射线做的，查斯继续的。在莫特预计的相反方向发现了4%的效应，认为是仪器造成的。”[218]

汤姆孙看来是第一个质疑这些结果的可靠性的人，但又一次使人惊讶的是，仍未提及查斯后来更为可靠的结果。没有提及90°—270°不对称并不令人太惊讶，因为这不会给解决当时被认为是重要的问题的莫特散射问题带来希望。

鲁普[219]在同一时间继续仔细地改进他的双重散射实验，特别强调纵向和横向磁场的效应。他把这一实验看做用来检验计算磁场效应的相对论性公式的。他全然没有提及莫特的理论工作，或许因为情况混乱。梅尔斯(Myers)等人[220]试图确证鲁普，以及鲁普和吉拉德早些时候双重衍射实验的结果。他们没有发现不对称的证据，并讨论了鲁普各个实验得到肯定结果的可能原因。他们将实验的状况总结如下：

“在鲁普和戴梦德[221]所有实验里都报告了极化的确实的证据，提供的是肯定的结果，虽然小，但比估计的观测误差要大得多。在引用的其他实验里，结果都是否定的，或者，如在考克斯，麦克阿埃拉斯和库瑞梅尔以及查斯的实验里，都是相当不确定的，因为实

[217] G.P.Thomson.Phil.Mag.,1934,17:1070～1071

[218] G.P.Thomson.Phil.Mag.,1934,17:1060

[219] E.Rupp.Z.Phys.90(1934),166

[220] F.E.Myers,J.F.Byrne,R.T.Cox.Phys.Rev.,1934,46:777

[221] 这仅指戴梦德1932年的报告E.G.Dymond.Proc.Roy.Soc.(London),1932,136A:638。他在校样时加了一个注说明他在1934年的撤回见E.G.Dymond.Proc.Roy.Soc.(London),1934,145A:657。

验有很多困难。”[222]

我们注意到，在这时候，考克斯等人也正对他们早期的实验结果表示了怀疑。

与莫特理论相左的实验结果，其总的趋向又引出几个理论上的尝试，或者去修改理论，或者去提出一个新的理论让它与实验数据相一致。海曼[223]在1935年提出了一项分层均匀电位的电子散射的理论，并得出结论说，从这种散射里不会有极化产生。他指出，与莫特的工作相对比，他认为他自己的计算较为切合实际。实际上不然。海泼恩和薛温格(Schwinger)[224]用添加 $V = b/r^2$ 的排斥项修改了库仑位势，发现它“完全把极化消除了”。温特(Winter)[225]也为单色狄拉克平面波从恒定势位的球体的双重散射提供了一个否定的结果，并指出它解释了新近实验的否定结果。这里我们要指出这些理论讨论是为了某一特定目标的性质。看来他们并没有解决莫特散射问题。

1937年，里科特(Richter)[226]发表了他认为是有关电子双重散射的权威性的实验。他宣称已经严密地满足了莫特理论的条件，但并没发现效应。他结论说：

“然而，尽管实验有很好的条件，但是仍然没发现莫特效应。由于这个实验的发现，**莫特关于由原子核引起的双重电子散射的理论不再能成立**(着重号是原有的)。这里我们不能决定，作为莫特理论基础的狄拉克电子自旋理论，以及它的其他应用有多少会受到莫特理论的失败的牵连。”[227]

---

[222] Myers et al. Phys. Rev., 1934, 46:778

[223] H. Hellmann. Z. Phys., 1935, 96:247

[224] O. Halpern. J. Schwinger. Phys. Rev., 1935, 48:109

[225] J. Winter. Compt. Rend, 1936, 202:1265

[226] H. Richter. Annln. Phys., 1937, 28:533

[227] H. Richter. Annln. Phys., 1937, 28:554

里科特将考克斯等人的实验列入他调研的早先的实验之中，注意到他们确实观测到某些不对称。他还注意到，查斯1929年的文章有在实验误差之内的不对称。又一次他没提到查斯1930年的结果或90°—270°的不对称，表明在考虑莫特理论问题时，这个效应是被忽略了。

查平(Champion)[228]于1938年回顾了整个电子散射问题并指出，在莫特单次散射理论与实验结果之间是存在着矛盾的。

"当然，这一理论工作是建立在狄拉克的电子相对论性波动方程之上的，看来不太可能，对现存的理论做任何小的修改就消除与实验上的巨大分歧。……我们在这里要指出，里科特检验了能量直到0.12 mV在金箔的90°的双重电子散射。结果完全与理论不一致，没有观察到极化，而莫特的理论预期有16%的极化，这是建立在狄拉克相对论性波动方程基础上的。"[229]

查平认为在理论和实验之间存在这一肯定的矛盾的观点，由1939年罗斯(Rose)和贝特(Bethe)的文章确认了，文章的题目是"论电子散射中没有极化"。[230]他们尝试了解决问题的种种方法，结论说，

"除了多次散射外，我们研究了其他过程的去极化效应。它们是：①改变电子的自旋的非弹性散射；②交换散射，其中交换的电子的自旋是相反的。

"可以极简短地说一下这些考虑的结果。不幸的是没有一个考虑到的效应能产生任何看得出的电子去极化，理论和实验之间的矛盾仍然存在，也许比以前更显眼。"[231]

---

[228] F.C.Champion. Reports Prog. Phys., 1938, 5:348

[229] F.C.Champion. Reports Prog. Phys., 1938, 5:358

[230] M.E.Rose, H.A.Bethe. Phys. Rev., 1939, 55:277

[231] M.E.Rose, H.A.Bethe. Phys. Rev., 1939, 55:278

巴特勒(Bartlett)和瓦森(Watson)改进了莫特的数字计算,观察到"我们的极化数值最多比莫特的值少大约10%,因此理论仍预计有一个效应,但还没有被观察到。"[232]

然而,1939年菊池(Kikuchi)报告了一项初步结果,似乎与莫特的理论相一致。他自己指出:

"当然,要全部地实现莫特理论原来要求的全部条件,那是远远超出实验技术的范围的。事实上,所用的金箔的厚度相对于理论要求的要厚得多。"[233]

罗斯[234]在另一篇文章里接受了菊池想修改理论的看法。罗斯指出,由于菊池使用了如此厚的靶,他的结果明显地与理论一致,实际上,比理论预期的要大得多,因为多重散射应引起80%去极化。他提出,菊池的结果可能归咎于仪器的不对称,就和戴梦德的实验相似。罗斯试图修改理论去减少差异,结果再次失败了。

"假设在核的周围存在一种非库仑力,试图来解释散射实验中观测到的电子的微弱极化和快电子(E≥500仟伏)在重的散射物质上的反常的微弱散射。……因此,为了得到与观察不明显分歧的不对称和散射,就必须假设,或者有一个长程的或特殊形式的非库仑力。……直到现在这些可能性看来都不能成立,看来非正常散射和不对称必须在存在非库仑力的假设之外进行解释。"[235]

可以说,在1940年初的时候,莫特预计在电子双重散射中会观察到极化效应的情形如下。虽然鲁普和稍后菊池曾观察到这种效应,但占优势的证据还是说这种效应还没有被观察到。为了解决理论与实验之间的矛盾,曾经做过各种各样的努力,但都没有成

---

[232] J. H. Bartlett, R. E. Watson. Phys. Rev., 1939, 56:612

[233] K. Kikuchi. Japan: Proc. Phys. - Math. Soc., 1939, 21:524
K. Kikuchi. Japan: Proc. Phys. - Math. Soc., 1940, 22:805 给了一个较详细的报告

[234] M. E. Rose. Phys. Rev., 1940, 57:280

[235] M. E. Rose. Phys. Rev., 1940, 57:280

功。事实上,我们前面已经讨论过,这个看起来对狄拉克电子理论非常重要的问题,使物理学家忽略了考克斯等人和查斯所得的结果。这是我们对30年代的文献所做的调查而得的结论。然而,具有极大讽刺意味的是,问题的解决还是开始于查斯,考克斯和他们的合作者们的工作。

1940年8月,查斯和考克斯发表了一篇关于50 KeV电子从铝单次散射的文章。[236] 他们提到了以前有关这一题目的实验

"已经表明了对于这一方程以及与此紧密有关的双重散射的不对称的预言的异议,并已认为这些实验已经表明狄拉克方程在某一电子速度范围内确实无效,这里很难期望会有其他的证据。"[237]

他们在做这个实验的时候发现了完全没有预计到的不对称,对此他们没有能提出任何解释。

"它出现在薄箔两面90°散射束流强度的对比之中,即束流入射的一面和相反面。两面的单次核散射的强度应该是一样的。但所观测到的散射,在束流入射的那一面始终是比较强的。"[238]

他们认为没有其他可能的散射效应和仪器的不对称,并且在做了适当的平均之后,最终找到了与莫特理论相一致的结果。

这种反射—穿透不对称,随后被舒尔(Shull)[239] 用在分析双重散射实验的结果上,他有一个初步的报告,随即舒尔等人[240] 有一个较详细的报告。在这些文章中他们指出,所观察到的极化取决于或者它们是"穿透"或者是"反射"极化实验(见图7)。他们指出,在穿透实验中观察到了一个大得多的不对称。

---

[236] C.T.Chase,R.T.Cox.Phys.Rev.,1940,58:243

[237] C.T.Chase,R.T.Cox.Phys.Rev.,1940,58:243

[238] C.T.Chase,R.T.Cox.Phys.Rev.,1940,58:248

[239] C.G.Shull.Phys.Rev.,1942,61:198

[240] C.G.Shull,C.T.Chase,F.E.Myers.Phys.Rev.,1943,63:29

“这个大的不对称是很有意思的，过去薄箔粒子散射理论没有注意到这种效应的可能性。高泽尔(Goertzel)和考克斯[241](我们将在下面讨论此文)指出，这一类型的效应可能是由于重复散射造成的，它是由同样数量级的两个偏转组成的。……如果重复散射是产生这个效应的原因，就可能，与这个实验类似的极化实验，就会严重地受其影响，因为伴随着重复散射会去极化[242]。这里有可能，反射极化实验(其中只研究了“反射”电子)要产生一个与穿透实验不同的不对称(其中只研究了“穿透”电子)。...为了比较实验结果和理论预测，应该使用那些在一个理想的穿透实验里得出的实验结果，因为这里单次散射的理论要求是很好地吻合了的。”[243]

他们分析了他们的穿透数据，给出了一个 1.12±0.02 的极化不对称，与巴特勒和瓦森[244] 计算的 10.4%符合得很好。

他们也检验了以前的没有给出极化的实验，特别是戴梦德和里科特的那些实验，注意到这两个实验都是反射实验，极化效应预计十分小。我们使用高泽尔和考克斯[245] 发展的理论就可以明了这一点。这里我们注意到，极化效应仅在 90°散射角附近是大的，45°散射的电子将不会很多地被极化。我们还要注意到，库仑散射的可能性是与($1/\sin^4\theta/2$)成正比，因而随着角度的增加而大大减少。在反射实验里(见图 7)，90°的散射可以由或者两个 45°的散射或者两个 135°的散射所合成。这就叫做重复散射。我们忽略了后者，因为这种散射非常小。第一个 45°散射产生了沿箔运动的电子，经过大量的散射物质很可能产生第二个 45°散射。由于这样散射的

[241] G. Goertzl, R. T. Cox. Phys. Rev., 1943, 63:37

[242] M. E. Rose, H. A. Bethe. Phys. Rev., 1939, 55:277
M. E. Rose. Phys. Rev., 1940, 57:280

[243] C. G. Shull, C. T. Chase, F. E. Myers. Phys. Rev., 1943, 63:34 ~ 36

[244] J. H. Bartlett, R. E. Watson. Phys. Rev., 1939, 56:612

[245] G. Goertzel, R. T. Cox. Phys. Rev., 1943, 63:37

电子没有极化,它们能够掩盖预期由单次90°散射产生的极化。然而,在穿透的实验里,90°散射只能够由45°散射和135°散射来合成。这一重复散射将会大大小于两个45°散射,因为散射对于($1/\sin^4\theta/2$)的关系,因而极化将不被掩盖。

不幸的是,在这个开始解决莫特散射问题的工作之后,而且考克斯和查斯教授在其中起了很重要的作用,他们自己却忘记了他们较早时候所做的散射的异常。虽然有一篇参考文献[246]提到了考克斯等早期时寻求自由电子极化的证据的努力,但没有提到他们和随后查斯找到的90°—270°的不对称。

虽然有许多工作要做[247],首先是改进理论和实验之间的数量上的一致,很清楚,解决莫特散射问题的主要突破是由查斯,考克斯和他们的合作者做的。

前面我们提到过,物理学界在了解考克斯等以及查斯早期的结果上的失误,其主要因素是由于30年代能量在几十万伏特级的电子加速器的发展。我们已经看到,在进行莫特散射实验上有极多的困难,而加速器的发展,它的束流大小、方向和能量都能够精确地控制,理所当然地看做是一个重要的进步。除去考克斯等和查斯早期使用的β衰变的高能电子的工作之外,所有的实验都使用人工加速的电子。然而,技术的进步排除了对考克斯和查斯的反常的结果的确认。如同我们在前面看到的(见第三节),他们观察到90°—270°的不对称只能是初始纵向极化的电子才能发生。初始不极化的热电子只能给出莫特预言的0°—180°的不对称。很清楚,那时的物理学家没有想过,热电子和从核β衰变来的电子之间的区别有什么重要性。考克斯教授自己确认了这一看法。

---

[246] C. G. Shull et al. Phys. Rev., 1943, 63:29

[247] 关于电子极化问题的综合评论发表于1956年,H. A. Tolhoek. Rev. Mod. Phys., 1956, 28:277

“有好几年在纽约大学我们的一个小组继续进行了电子散射和衍射的实验。但是,如同我所记忆的,我们多数的实验不是用β射线,而是用人工加速的电子。虽然我们第一篇文章的题目是“β射线束流里极化的明显证据”,我并没有想到,我想别人也没想到β射线在发射时极化。我认为靶对于任何给定速度的电子束流打击下会有同样的效应,在第一个靶极化,在第二个靶分析。因此我不认为,从放射性源改变为加速器,在我的研究领域里会是一个根本性的变化。”[248]

现在我们可以来检视一下50年代的知识状况,看看为什么李和杨非要提出他们宇称不守恒的建议不可,而为什么物理学界又非常认真地对待。前面我们已经提到,关于宇称可能不守恒的建议在李和杨之前就已经有人提出过,但那只不过是作为一种可能性而不是一项真实问题的解。这方面的第一篇论文是由普塞尔(Purcell)和拉姆塞(Ramsey)[249]作的,涉及了基本粒子电偶极矩的可能性。他们指出,关于存在那种电偶极矩的理论上的主要反对理由是基于宇称守恒,但对基本粒子和核还没有检验过宇称守恒。

“基于理论的对称论点,通常假设核和基本粒子不会有电偶极矩。本文的目的就是要指出,即使这些理论论点在用到其电磁起因已知道得很好的分子和原子力矩时是正确的,把它们延伸到核和基本粒子上时,这种假设还没有经过检验。……

“在另一种形式下,有关电偶极矩的争论直接引起宇称问题。具有电偶极矩的核子会显示出左手和右手坐标系统的不对称;在一种系统里,偶极矩平行于角动量,而在另一种系统里,则反平行。但并没有紧迫的理由来排除这一可能性。这不会是平常经验中的

---

[248] R.T.Cox,私人通信。

[249] E.M.Purcell,N.F.Ramsey.Phys.Rev.,1950,78:807

粒子的惟一的不对称,因为对于电荷来说已经有了明显的不对称。”[250]

有趣的是,这篇论文却被李和杨错误地引用。他们指出;

“至今最精确的电偶极矩测量是由普塞尔,拉姆塞和史密斯完成的。他们得到中子电偶极矩的上限为 $e \times (5 \times 10^{-20} cm)$。……这也是强作用和电磁作用中对宇称守恒的最精确的验证。”[251]

他们的注 6 指出了拉姆塞的分子束(MolecularBeams)一书(牛津大学出版社,伦敦,1956)中所引用的普塞尔和拉姆塞的论文。虽然原始的论文没有给出中子电偶极矩的任何数量结果,而只是指出了实验取得了进展,该书说这一结果包含在那里。[252]因此,很清楚,李和杨从来没有读过这一原文,李教授确认了这一点。[253]

在 1952 年维克(Wick)等人的论文里,有关于宇称不守恒的进一步的意见。[254]他们讨论了基本粒子的内禀的宇称概念,指出这个概念有局限。

“本文的目的是要指出,对于那些一般概念中的一个,即基本粒子的‘内禀宇称’这个概念,可能(在某些必要的情况下)存在着局限。即使我们的想法并不因此而发生根本的改变,我们相信,对这件事情给以一定的注意还是有用的,譬如它可以防止人们把‘定理’认为是某些假设,或者把它作为某种‘不可能的’理论形式而抛弃,而在较为灵活的框架下这些是完全自洽的。”[255]

然后他们讨论了这种理论的某些可能的形式,特别谈到粒子—反粒子对称和反演对称(宇称守恒)。他们指出:

---

[250] E.M.Purcell,N.F.Ramsey.Phys.Rev.,1950,78:807

[251] T.D.Lee,C.N.Yang.Phys.Rev.,1956,104:255

[252] N.F.Ramsey.Molecular Beams.Lodon:Oxford,1956.202

[253] T.D.Lee,私人通信。

[254] G.C.Wick,A.S.Wightman,E.P.Wigner.Phys.Rev.,1952,88:101

[255] G.C.Wick et al.Phys.Rev.,1952,88:101

“C(粒子—反粒子对称)是一严格的对称特性,远未被证实。有可能令人烦乱,C和I(反演对称或宇称守恒)两者仅是近似的,而CI是惟一的严格的对称规律。……然而,这一可能性在现在看来似乎还遥远。”[256]

我们已经看到,这一可能性并不像维克等人所相信的那样遥远,因为只不过四年之后李和杨就发表了他们关于宇称不守恒的论文。在提到这些早期的设想时,我们没有任何意思说他们影响了李和杨,或者说他们在实际意义上是李和杨的先驱。他们只是表示在50年代,至少已经有了这种对称破坏的可能性的考虑。李和杨所做的,仍然是一个至关紧要和重大的一步,不仅是建议用这种宇称破坏解决了一项物理的难题,即 $\theta-\tau$ 之谜,并且讨论了如何去检验他们的建议的一些实验。

为了了解李和杨做出他们那项大胆的建议的内容,我们要看一下50年代时,有关被称为“奇异”粒子的状况。这些粒子被称为奇异粒子,因为,我们就要看到,它们的行为与其他基本粒子相比非常奇特,并且对它们不够了解。奇异粒子的研究开始于1947年,由罗彻斯特(Rochester)和波特勒(Butler)[257]发现了新的不稳定粒子。他们发现,这些新粒子有两种类型:质量约为质子的一半的,叫做K粒子或K介子,而那些比质子稍重的,叫做超子。特别是K介子是一个谜,因为看起来不少粒子要么具有相同或近于相同的质量和寿命和不同的衰变模式,或者或许少数的粒子,可能只有一种,观察到的这种K粒子有不同的衰变模式。这包括了我们已经讨论过的 θ 和 τ 介子和其他粒子。A.M.沙皮罗(A.M.Shapiro)在1956年发表的一篇评论文章里指出:

“从1949到1954年,至少有8种不同的K介子或K粒子衰变

---

[256] G.C.Wick et al. Phys. Rev., 1952, 88:104

[257] G.D.Rochester, C.C.Butler. Nature, 1947, 160:855

模式以及至少有4种不同的超子被发现。”[258]

M.M.沙皮罗(M.M.Shapiro)在1956年另一篇评论介子和超子的文章里,提出了6种不同的粒子或衰变模式。[259]多少不同的粒子或衰变模式的问题实质上随人的看法而异,取决于人们把不同的电荷态看做是不同的还是同一模式。

除去$\theta-\tau$之谜外,奇异粒子最令人迷惑的特性或许就是,虽然它们在强相互作用中能够大量地产生,但它们的寿命却相当长。杨振宁在1956年4月在罗彻斯特举行的高能核物理会议上,对这一问题做了一个评述报告:

“正如大家记得的,这些考虑的出发点是这样的一个谜,即虽然奇异粒子在10亿电子伏特及以上的能量下极其丰富地产生出来(例如,为π介子的5%),而它转变为π介子和核子的衰变却是相当缓慢的(10^{-10}秒)。既然π—核相互作用的时间标度是10^{-23}秒的数量级,令人甚为困惑的是如何把这些客体的丰富性与它们的长寿命(10^{13}时间标度单位)协调起来。”[260]

第一个如何解决这一问题的建议是派尔斯(Pais)在1952年提出的。[261]他建议,在强相互作用中,所产生的奇异粒子的数目总是偶数,即协同产生现象。然而,这些粒子的衰变,因为仅有一个奇异粒子参与,强相互作用不起作用,衰变只能通过弱相互作用进行。至少,通过特别途径解释了这一现象。这个建议由奇异性守恒理论而进一步完善,这个理论是由盖尔曼(Gell - Man)和西岛

---

[258] A.M.Shapiro.Rev.Mod.Phys.,1956,28:164

[259] M.M.Shapiro.Am.J.Phys.,1956,24:196

[260] C.N.Yang.Ref.,23:Ⅷ2

[261] A.Pais.Phys.Rev.,1952,86:663

(Nishijima)于1953年~1955年期间提出的。[262]他们的理论说,K介子和超子具有一种量子数称作奇异数(K^0介子的是+1,Λ重子的是-1),在强相互作用中是守恒的,但在弱相互作用中是不守恒的。当然,这和派尔斯的建议是很相似的,它既解释了奇异粒子的大量协同产生现象,又解释了长的衰变寿命。然而,奇异数守恒预言,某些其他的粒子反应是不会发生的,杨在1956年指出,

"奇异数守恒是由盖尔曼和西岛于1953年提出的,在刚过去的一年里得到了实验上的强力支持。"[263]

杨列出了几项支持这一理论的实验结果后指出,"还不知道有违反奇异数选择规律的现象"。[264]

研究奇异粒子令人迷惑的现象明显的是物理学家主要的兴趣所在。我们注意到,在1950年~1956年期间,有关弱作用的实验文章的数量有极大的增长,而其中关于K介子衰变的文章的比率在1954年约是50%,在1955年是65%,而在1956年是65%。[265]我们还要指出,在那个时候,发展和建造高能加速器以及粒子探测技术的进步,大大地促进了这项研究,与我们前面对于在1930年时的技术的讨论形成鲜明的对照。杨在1957年时指出:

"对于这些奇异粒子以及以后发现的粒子的研究,在过去几年有了极大的扩展。随着1953年Cosmotron(30亿电子伏特质子同步稳相加速器)的建成,1955年Bevatron(68亿电子伏特质子加速

---

[262] M. Gell - Man. Phys. Rev., 1953, 92: 833
T. Nakano. K. Nishijima. Progr. Theor. Phys., 1953, 10: 581
K. Nishijima. Progr. Theor. Phys., 1954, 12: 107
K. Nishijima. Progr. Theor. Phys., 1955, 10: 285
M. Gell - Man. A. Paris. Phys. Rev., 1955, 97: 1387
M. Gell - Man. Nuovo Cimento, 1956, 4: 848

[263] C. N. Yang. Proc. Sixth Ann. Rochester Conf 1956. Ⅷ3

[264] C. N. Yang. Proc. Sixth Ann. Rochester Conf 1956. Ⅷ4

[265] Daniel Sullivanetal. Soc. Stud. Sci., 1977, 7: 178 ~ 180

器)的建成,实验工作进入了一个新的时期,人们可以利用受控制的奇异粒子束流对其相互作用和衰变进行相对精确的测量。关于这个问题的实验活动的规模和强度可以由以下事实来衡量,布鲁克海文国家实验室的 Cosmotron 质子加速器现在 60% 的运转时间都用在奇异粒子的研究上了。"[266]

当然,对奇异粒子这样大数量的实验研究,同时也陪随着理论研究。特别是,为了解决 $\theta-\tau$ 之谜做了各种努力,使用了通常的以及非传统的方法。这方面最早的工作是由李和奥里尔(Orear)在 1955 年做的,他们建议说,或许这两个粒子中较重的一个可以衰变为较轻的粒子因而给出了与实验一致的结果。

"根据达立兹的分析,就需要假设 $K^{\pm}_{\pi 3}(\tau^{\pm})$ 和 $K^{\pm}_{\pi 2}(\theta^{\pm})$ 是至少两种不同的带电粒子。近来的实验证据支持下列假说,即观察到的寿命是准确地相同的(至少在经过 $>10^{-9}$ 秒时间后)。作为解决这一难题的一种解,我们建议存在两种重介子,即 $\theta^{\pm}$ 和 $\tau^{\pm}$, $\theta^{\pm}\rightarrow\pi^{+}+\pi^{0}$, $\tau^{\pm}\rightarrow\pi^{\pm}+2\pi$。进而我们假定这两种粒子中较重的一种具有数量级为 10^{-8} 秒的寿命,它具有大的通过放出 γ 射线而衰变为较轻的粒子的分支比。最后假如认定较轻的粒子的寿命为 10^{-9} 秒或更少,我们得到一个结果,虽然两个粒子具有不同的寿命,但在多数的实验里却显现出是准确的相同的寿命。"[267]

在 1956 年罗彻斯特会议上,阿尔瓦雷兹(Alvarez)报告了寻找 γ 射线的工作,因为从李和奥里尔建议的衰变机制里应该产生这种射线,即 $\theta^{\pm}\rightarrow\tau^{\pm}+2\gamma$,或反之,即 $\tau^{\pm}\rightarrow\theta^{\pm}+\gamma$,实验得出结论,"没有看到数量级为 0.5 MeV 或较大的脉冲,即李和奥里尔提出的 γ 射线。"[268]

---

[266] C. N. Yang. Rev. Mod. Phys., 1957, 29: 231

[267] T. D. Lee, J. Orear. Phys. Rev., 1955, 100: 932

[268] L. Alvarez. Proc. Sixth Ann. Rochester Conf. 1956. V 28 ~ 30

李和杨另外提出建议，去解释 θ 和 τ 具有明显相同的质量。[269]他们建议，作为另一种对称的结果，他们称之为宇称共轭，每一个奇异粒子是以宇称二重态而产生。这样一来就不仅仅 θ 和 τ 都有反粒子，而且 Λ_1^0 和 Λ_2^0 等也有。我们要指出，后来的宇称不守恒的观测把这一假说打破了。

1956年在罗彻斯特举行的高能核物理会议提供了一大批理论建议。马尔夏克(Marshak)[270]建议，做最后的努力，用较大的自旋值去解释 θ 和 τ 是同一种粒子。他报告说，最低的自旋值与单粒子假设相容的为 2^+。虽然这与那时的数据是相容的，奥里尔等人[271]后来指出这种建议极不可能。

杨在评论奇异粒子的报告的结尾，广泛地讨论了其他不同的可供选择的方法。读这一讨论的整个总结是有用的，因为它清楚地指出，物理学家是如何思考这一问题的。

“接下来是广泛的讨论……敞开思路，费曼(Feynman)替布洛克(Block)提出了一个问题：即会不会 θ 和 τ 是同一粒子的不同的宇称态，它没有确定的宇称，就是说，宇称是不守恒的？换句话说，自然界是不是有一种单一确定右手或左手的方法呢？杨指出，他和李考虑了这一点但没有得出什么确定的结论。维格勒(在米歇尔(Michel)和韦特曼(Wightman)准备的文件里讨论过)曾意识到可能存在着相反宇称的两种态，因为空间—时间转换特性，而相互退化。因此，可能存在着具有两种宇称的粒子。但是，如果我们继续相信对于空间—时间的转换是绝对不变的，那它怎么能衰变呢？或许我们可以说，宇称守恒，此外或者时间反演不变会被破坏的。或许弱相互作用可能全部来自这同一来源，一个空间—时间对称

---

[269] T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 102: 290

[270] R. Marshak. Proc. Sixth Ann. Rochester Conf. 1956. Ⅷ18

[271] J. Orear, G. Harris, S. Taylor. Phys. Rev., 1956, 102: 1676

的违反。具有吸引力的出路是一个荒谬的想法，也许粒子是这样发射出来的，没有质量、电荷和能量—力矩，但只带走了某些奇异的空间—时间转换特性。盖尔曼觉得，我们还应该对各种可能性敞开思路，如马尔夏克(见上面)的建议，即 θ 和 τ 可能会是同一种粒子。

"米歇尔建议了另外一条走出困难的路。从实验看来，看来十分清楚 τ^+ 和 θ^0 的宇称。如果我们假设，π^0 是由 $\theta^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ 发射出来的，是一个'近似于真的 π^0'，同样从 $\pi^0 \rightarrow \gamma + e + e$ 过程发射出来的一对是'近似于真的 γ'，没有什么理由使 θ^+ 的自旋－宇称不为 0^-。这个'近似于真的 π^0'，或许是由于某个选择规律，只能是'虚'的出现。

"会议主席奥本海默(J. R. Oppenheimer)觉得是结束我们讨论的时候了。……"[272]

就是在这种情况下，在进行紧张的实验和理论探讨的时候，在解释 $\theta-\tau$ 之谜的传统的方法以及某些独立的解释的努力失败的时候，李和杨提出了他们的弱相互作用中宇称不守恒的建议。并不令人惊奇，物理学界的某些成员最终严肃地考虑了这一问题并有了行动，导致产生了前面我们讨论过的那项至关重要的实验。

致　谢

我要感谢我的朋友和同事，卡罗拉多大学哲学系斯莫克勒(Howard Smokler)教授的帮助和鼓励。他见多识广的批评和有益的讨论是非常宝贵的。对他我要表示衷心的感谢。

我要感谢考克斯教授和库瑞梅耶教授向我提供有关他们早期实验的回忆以及很多宝贵的材料。我还要感谢几次与李政道教授

[272] Proc. Sixth Ann. Rochester Conf. 1956. VIII 27～28

有价值的交谈，是他提供了他未发表的《弱相互作用的历史》一文；感谢与格罗金斯教授的交谈，是他第一个认识到那些早期结果的重要性。还要感谢我的同事，马汉沙帕(K.T.Mahanthappa)和德累特林(Joseph Dreitlein)教授非常有益的讨论，感谢马克谢尔(Marc Sher)先生翻译了几篇引用的论文。最后，但很重要，我要感谢罗伊尔(Jeannette Royer)女士在非常困难的条件下打出了这一稿件。

表1 考克斯，麦克阿埃拉斯和库瑞梅耶的实验结果

90°的计数 / 270°的计数	0.76	0.90	0.94	0.87	0.98	1.03	1.03	0.91
或然误差	0.01	0.07	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02
90°的计数 / 270°的计数	0.95	0.99	1.01	1.06	1.05	0.55	0.91	
或然误差	0.05	0.03	0.04	0.05	0.02	0.05	0.03	

加权平均 0.91 ± 0.01

(在原始文献中并未计算平均值)

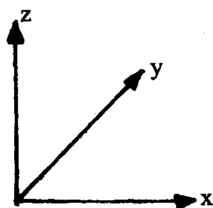
表2 查斯(1930年9月15日)的实验结果——相对计数*

0°	90°	180°	270°	权重
1.000	0.972	1.009	1.024	1
1.000	0.975	1.075	1.075	1
1.000	0.997	0.986	1.005	1
1.000	0.990	0.986	1.015	1
1.000	0.988	1.000	1.008	1

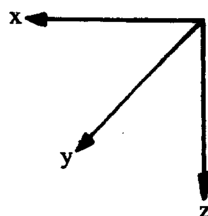
* 译者注：原文误为1970年，现按原始文献 Carl T. Chase. Phys. Rev., 1930, 36: 1060 改正。

0°	90°	180°	270°	权重
1.000	0.994	0.976	1.010	1
1.000	1.034	1.041	1.044	
1.000	—	0.950	—	4
—	1.000	—	1.030	3
—	1.000	—	1.040	3
—	—	1.000	1.020	2
1.000	—	0.933	—	1
—	1.000	—	1.030	2
—	—	1.000	0.969	2
1.000	—	—	1.003	1
1.000	—	1.037	—	2
—	1.000	0.933	—	2
1.000	0.993	0.985	1.021	加权平均
±0.003	±0.003	±0.003	±0.003	

实验误差 = 1%



右手坐标系统



左手坐标系统

图 1 右手和左手坐标系统



图 2 真实空间和镜像空间里的自旋和动量

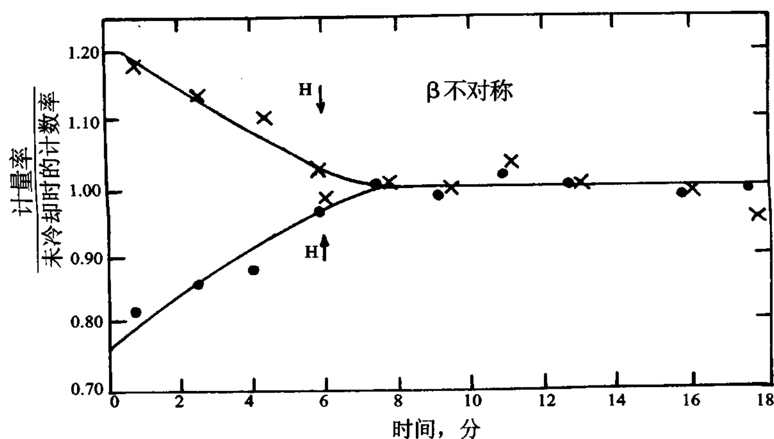


图 3 来源于极化 Co^{60} 衰变的 β 粒子对核的极化方向(磁场的方向)的相对计数(取自 C. S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes, R. P. Hudson. Phys. Rev., 1957, 105: 1413)。

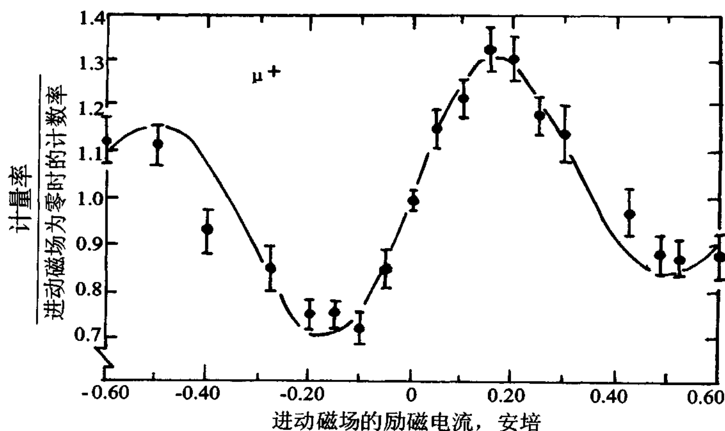


图 4 相应于进动磁场电流的相对计数(取自 RichardL. Garwin, Leon M. Lederman, Marcel Weinrich. Phys. Rev., 1957, 105: 1415)。

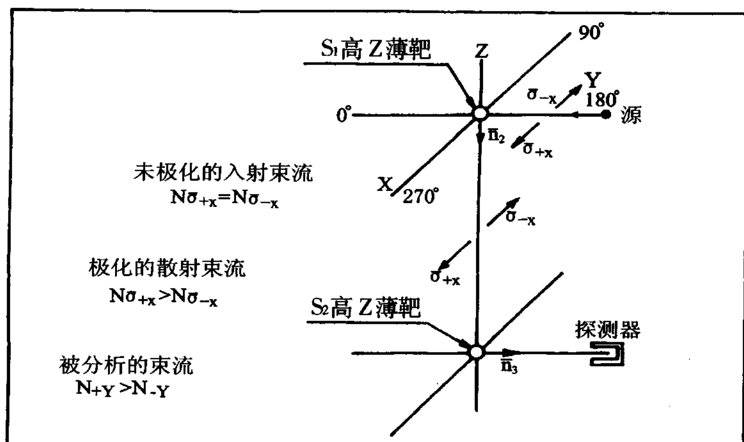


图 5 未极化束的莫特双重散射(取自 L. Grodzins. Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A., 1959, 45: 339)。

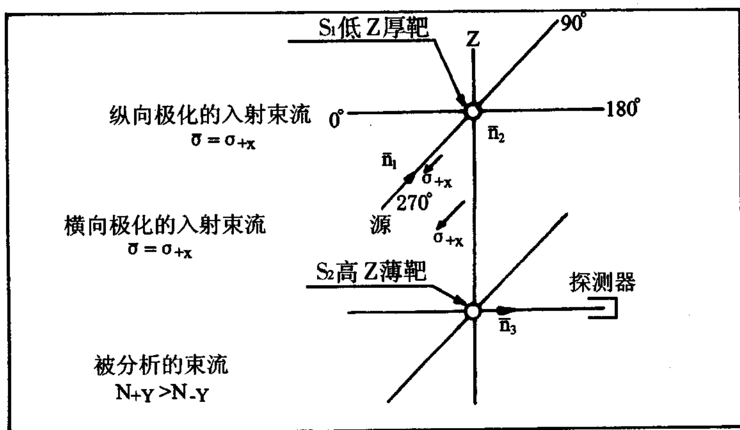


图 6 极化束的莫特双重散射(取自 L. Grodzins. Proc. Natn. Acad. Sci. U. S. A., 1959, 45:339)。

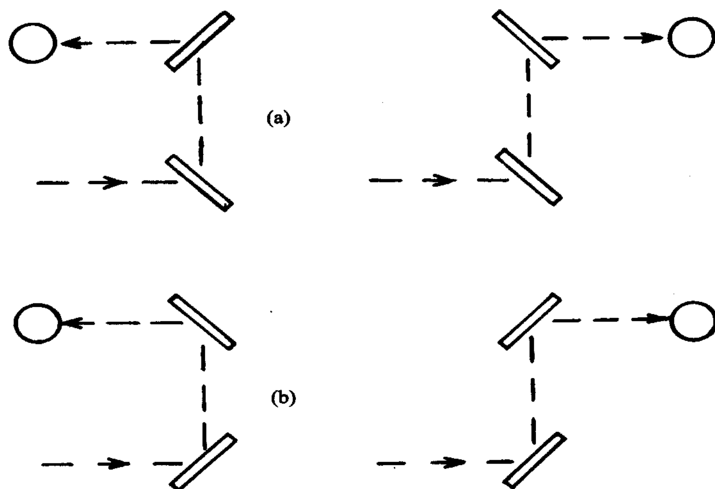


图 7 (a)理想的双重散射穿透实验(b)理想的反射实验

破 缺 的 宇 称[1]

李政道

一、序

一个阴暗有雾的日子,有两个小孩在沙滩上玩耍,其中一个说:“喂,你看到那闪烁的光了吗?”另一个回答说:“看到了,让我们走近一点看。”两个孩子十分好奇,他们肩并肩向着光跑去。有的时候一个在前面,有的时候另一个在前面。像竞赛一样,他们竭尽全力,跑得越来越快。他们的努力和速度使他们两个非常激动,忘掉了一切。

第一个到达门口的孩子说:“找到了!”他把门打开。另一个冲了进去。他被里面异常的美丽弄得眼花缭乱,大声地说:“多么奇妙! 多么灿烂!”

结果,他们发现了黄色帝国的宝库。他们的这项功绩使他们获得了重奖,深受人们的羡慕。他们名扬四海。多少年过去,他们老了,变得爱好争吵。记忆模糊,生活单调。其中一个决定要用金子镌刻自己的墓志铭:“这里长眠着的是那个首先发现宝藏的人”。另一个随后说道:“可是,是我打开的门。”

---

① T.D.Lee. Broken Parity. T.D.Lee Selected Papers, volume 3. Boston: Birkhauser Inc., 1986.487 ~509

我第一次与杨振宁在物理学方面的合作是在1948年的秋天。其次是于1951年~1952年。然后是1955年~1962年。最近，一位朋友给我看一本书，是杨振宁注释的1945年~1980年他的论文选②。书中列举的有关我们合作的情况使我大吃一惊。

我很不情愿地重新去追述和回忆那已经破裂的友谊，为此我感到伤心。

二、早期的合作

1946年秋季我十九岁时进入芝加哥大学研究生院。杨振宁比我大几岁，和我来自中国的同一所大学。当我到达时，他已经在芝加哥大学了。杨极端聪明，在数学物理上特别有天赋。1945年我在昆明遇见过他一次。在芝加哥，我们很快便成了好友。

1948年春，我通过了基础考试，在费米教授指导下开始做我的论文。那时在费米实验室的另一位学生斯坦伯格(Jack Steinberger)，正在做$\mu \rightarrow e + \cdots\cdots$衰变中电子谱的实验。他的测量证实，$\mu$衰变和$\beta$衰变一样，包括有四个费米子。很自然，我的注意力和在芝加哥的其他几位一样，也被这一领域内的问题所吸引。结果就有了我与杨的第一次合作。

1948年秋，罗森布鲁斯(Marshall Rosenbluth)、杨振宁和我开始系统地研究μ衰变和μ俘获。我们发现，这些反应和β衰变类似，可以用四费米子相互作用描述，其耦合常数也与β衰变中近似相同。随后我们推测，这些反应与库仑相互作用相似，实际上是通过普适耦合的中间玻色子场来传播的。对于这种场，所有的费米子对具有相同的“荷”。为了产生短程相互作用，这个场的量子必然

② C.N.Yang. Selected Papers 1945 - 1980 with Commentary. San Francisco: W.H.Freeman and Company, 1983

具有质量,而由于没能探测到,它的寿命必然是非常短的。然而,因为光子和引力子是没有质量的,中间玻色子要有相当的质量这一问题就使我们极为棘手。同时,因为宇称守恒,那时要理解为什么在β衰变中既有费米相互作用,又有伽莫夫—泰勒相互作用是困难的。我们同费米教授讨论了这些问题。在费米的执意坚持下,我们才勉为其难,写出了我们那篇论文③,那是在 1949 年新年前后。

在芝加哥的那些日子里,我同杨讨论了大量的物理和其他问题。他的兴趣较倾向于数学,这对我是一个补充。我们思想开阔地去对待所有的问题,讨论通常是激烈的,但对我的发展,特别是在我成长的年代里,产生了重要的影响;那些讨论还使我大大提高了对与我不同的智力的鉴赏能力。当然,费米教授给我的影响则大得多④。即使现在,有些时候我遇到困难,我就去设想,如果费米遇到同样的情况会怎么办。费米同他的学生之间的关系是非常亲近的。我可以每周有一整个下午同他见面。通常他总是提出某个题目,问我是不是能想一想和阅读一下有关它们的资料,然后“给他上堂课”。当然,我不能拒绝他的要求,可我随后总是感到非常愉快。只是在很久之后,我才意识到,这是一个引导学生去独立工作的非常好的方法。

我于 1949 年底离开芝加哥。杨早几个月离开芝加哥去普林斯顿高等研究院(Institute for Advanced Study)。

当我于 1951 年秋到达高等研究院时,讨论的最热烈的问题之一是伊辛(Ising)模型。那时候,杨刚好完成了他的两维伊辛模型

③ T. D. Lee, M. Rosenbluth, C. N. Yang. Phys. Rev., 1949, 75:905

④ 除了费米教授,我还从钱德拉塞卡教授(Chandrasekhar),迈耶教授以及在芝加哥的人那里学到了许多知识。杨关于我的物理学训练方面的看法与我迥异。请看杨的《1945 - 1980 论文选及注释》,第 7 页。

的磁化计算，想继续在这一领域中工作。由于我在芝加哥时，曾听了乔和玛丽·迈耶(Joe and Maria Mayer)的统计力学课，迈耶的凝聚理论总是使我入迷。自然，我们的讨论就很快集中到将伊辛结果向气—液相变的推广。很快杨和我严格证明了几个有关相变的定理，做出了具有实质性的进展，稍后发表了两篇论文[⑤]。第一篇论文包括两个定理，主要的部分是由我证明的。我们完成这篇论文之后，杨要求如果我不在意的话能不能把他的名字放在我的前面，因为他比我大几岁。我对他的要求十分吃惊。由于中国尊敬年长者的传统，我同意了。稍后，我看了文献，察觉这样做是不公平的。当我们写第二篇论文时，我把其他一些发表的论文作为例子给他看，说明年岁的大小通常不是排名要考虑的因素。这样，在第二篇论文上名字的次序便倒过来了，虽然在这篇论文中单位圆定理(unit circle theorem)的决定性的一步是由杨做出的[⑥]。

在这种看起来细小，但使人颇感困窘的事情之后，我觉得还是不再与杨合作下去为好。这就是为什么我们直到1955年都没在一起工作的原因，尽管我还在高等研究院工作了一年半(至1953年)，然后转到不远的哥伦比亚大学去工作。

在高等研究院的伟人中，爱因斯坦超越一切其他人。年轻人看到他都十分敬畏，他经常和高德尔(K. Goedel)一起走着去办公室。我们所有的人都过分腼腆不敢同他谈话。1952年的一天，爱因斯坦叫他的助手布鲁瑞·考夫曼(Bruria Kaufman)来问，他是不是

⑤ C. N. Yang, T. D. Lee. Phys. Rev., 1952, 87:404
T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1952, 87:410

⑥ 我们用了一个多月的时间，紧张刻苦共同努力，从对单位圆定理的第一个推测开始，经过许多部分成功、部分不成功的尝试，直到最后完成证明。在1969年杨对卡斯(M. Kac)所作的解释(为了发表)中，他只强调了他自己在合作工作最后阶段的贡献。在我第一次读他的《1945－1980论文选及注释》第15页的时候，我没想到他个人会有这样的看法。

能同杨和我谈谈。我们立刻回答:"当然可以!⑦"我本想把我的一本"相对论的意义"带去请爱因斯坦签名,但是我没有做,我一直为此感到遗憾。

我们到了爱因斯坦的办公室。他说他读了我们关于统计力学的两篇文章,给他很深印象。他首先询问我们关于巨正则系统的基础。显然,他对这一方法完全不熟悉。这使我十分吃惊,因为我一直以为,这一套方法是为了推导出玻色—爱因斯坦凝聚而发明的。随后他的问题转向格点气体的物理适用性以及配分函数解的分布的细节。我们的回答使他很高兴。整个谈话涉及的面很广,持续了很长时间。最后他站起来,握着我们的手说:"祝你们未来在物理学中获得成功。"我记得他的手较其他人的大而温暖。总之,这是一件非常难忘的事。

三、宇称破坏

随后几年,虽然我和杨没有合作,但是我们的家庭却经常来往。

1954 年杨和米尔斯(Mills)发表了他们关于同位旋规范场理论的文章⑧。这就是著名的"杨—米尔斯方程"的首次问世,它注定要在现代物理学中发挥非常重要的作用。但是在当时,它的最终的重要性我还不太清楚。我在这一研究领域中的作用是不大的。然而,他们的研究结果却使我和杨比较接近,逐渐形成了我们在以后七年中有非常丰富成果的合作。

在 1955 年初,我对杨和米尔斯论文中的"局域规范不变性"假

---

⑦ 杨对这一件事的回忆和我的不同。请看 C. N. Yang. Selected Papers 1945 - 1980 with Commentary. 1983. 15。

⑧ C. N. Yang, R. L. Mills. Phys. Rev., 1954, 96:191

设发生怀疑。由于同位旋不是整体守恒的，为什么去要求它有局域规范不变性呢？为说明这一点，可以举出最好确立的守恒定律，即重子数守恒。依据相同的局域规范不变性假设，人们可以得出结论，一定存在着一种新的长程作用力，可是这一结论没有实验的支持。杨和我讨论了多次，结果就是我们 1955 年的论文⑨。

从 1956 年到 1962 年，杨和我共同写了 32 篇论文，范围从粒子物理学到统计力学。我们很幸运能生在物理学的这一特殊时代。尽管冷战时期政治上是紧张的，但是物理学的国际合作也许是处在高峰时期，由马尔夏克(R.E.Marshak)发起的著名的罗彻斯特会议和由许多国家联合努力而成立的欧洲核子中心就是证明。杨和我的合作符合并反映了那时的精神。合作紧密而富有成果，有竞争也很协调。我们在一起工作，发挥出我们每个人的最大能力。合作的成果大大多于每个人单独工作可能取得的成果。

我们的论文中，最重要的是关于宇称破坏；我这里集中谈一谈这个问题，尽我可能地准确写出我对那个非常有意义的时期的个人看法。我想强调一下，这个看法完全是个人的，它是从我个人的回忆里找出来的，仅仅包括我在场的一些情形。再说一下，这不是那种能让大家共享的回忆录范本。我之所以这样做，仅仅是为了回答杨的说法，因为他对所发生事件的叙述和事实上很不相同。

宇称不守恒的发现是物理学界一代人的成果。杨和我是众多参与者中的两个。这件事是从 $\theta-\tau$ 之谜开始的，在 1955 年，这已经是物理学界的一个"热点"了。为什么 θ 和 τ，两个不同宇称的粒子，具有相同的寿命和十分相近的质量？

我起初的努力路线不对。在 1955 年夏天，奥里尔(J.Orear)和我在常规理论的范围内提出了一个方案。我们建议了一个级联机

---

⑨ T.D.Lee, C.N.Yang. Phys.Rev., 1955, 98: 1501

制[10],采用当时大家认可的自旋、宇称,τ 的自旋、宇称是 0^-,θ 的是 0^+。基于相空间的考虑,假定 $\theta(\to 2\pi)$ 较 $\tau(\to 3\pi)$ 具有短得多的寿命看起来是合理的。如果假定 τ 比 θ 重 10 MeV, 0 - 0 禁戒跃迁。

$\tau \to \theta + 2\gamma$

就可以与 τ 的 3π 衰变模式相比,其结果是 θ 的"表面上"的寿命就是 τ 的寿命,假设 θ 的寿命是用 2π 衰变的衰减方法确定的。

然而,在 1956 年初,当阿尔瓦雷兹(Alvarez)小组在他们的泡室中寻找 5 MeV 的 γ 失败之后[11],事情就清楚了,我们那个常规的机制是不对的。随后我意识到,$\theta - \tau$ 之谜的解必须取决于更深的基础:或许宇称是不守恒的,θ 和 τ 是同一种粒子。我和杨讨论了这种可能性,但是我们没能做出任何进展[12]。

不幸的是,就这一点而言,在 $\theta - \tau$ 衰变中宇称不守恒的假设只是同义重复。因为如果假定宇称不守恒仅发生在 $\theta - \tau$ 的弱衰变中,那么最大的可测量效应就只能是同一个零自旋粒子既可衰变为 2π(θ 模式),也可衰变为 3π(τ 模式),可是这样的解释正是原来已经观察到的现象。

在 1956 年罗彻斯特会议之后,我更明确地意识到,除非是能表明宇称不守恒也适用于其他过程,我们不可能肯定地知道在 $\theta - \tau$ 衰变中的宇称是守恒还是不守恒。关键性的一步是发生在大约一周之后,在 4 月中,来自我和斯坦伯格的讨论,他当时也在哥

---

[10] T. D. Lee, J. Orear. Phys. Rev., 1955, 100: 932

[11] L. Alvarez. High Energy Nuclear Physics. Proceedings of the Sixth Annual Rochester Conference. New York: Interscience Publishers, 1956. V - 28

[12] 杨在回答费曼(Feynman)在罗彻斯特会议上的提问时表达了我们的这种感觉(High Energy Nuclear Physics. Proceedings of the Sixth Annual Rochester Conference. New York: Interscience Publishers, 1956. VIII - 27):"……不先入为主,费曼代 Block 问了一个问题:θ 和 τ 是否可能是没有确定的宇称的同一个粒子的不同宇称态,就是说宇称是不守恒的。……杨说他和李研究过这一问题,但没有得到肯定的结论。"

伦比亚大学。

那时，斯坦伯格和其他人正在详尽地做 Λ 和 Σ 的产生和衰变的实验。

$$\pi^- + p \rightarrow \begin{cases} \Lambda^0 + K^0 \\ \Sigma^- + K^+ \end{cases} \tag{1}$$

和

$$\left.\begin{matrix} \Lambda^0 \\ \Sigma^- \end{matrix}\right\} \rightarrow \pi + N \tag{2}$$

产生平面和衰变平面之间的二面角 θ 对确定超子的自旋很重要。斯坦伯格和我讨论了 θ 的范围，作为二面角，θ 从 0 变到 π。在讨论过程中，发现如果 θ 作为绕 Λ 的动量矢量旋转的角度而被测量，此矢量是这两个平面的相交线，那么这 θ 的范围可以扩大为从 0 到 2π。我指出，如果宇称是不守恒的，那么在 θ 从 0 到 π 和从 π 到 2π 之间的事例数也会是不对称的⑬。

这可能就是那没有找到的钥匙。稍后，我意识到，一个较简单的方法可能是，将 θ 的定义改为产生平面的垂线与末态 π 的动量间的夹角。宇称不守恒则意味着 $\cos\theta$ 从 0 到 1 之间的"向上"事例与从 0 到 -1 的"向下"事例之间的不对称。

我随后提出假设，虽然强相互作用保持宇称守恒，至少在强相互作用粒子的弱衰变中会存在宇称破坏。这就可以解释 $\theta-\tau$ 之谜，并在斯坦伯格的超子实验中产生上下不对称。那时，这类的超子事例的数目很有限，只有约 40 个。但是在一年之后，事例多起

⑬　在讨论之后，斯坦伯格和他的合作者们立即重新分析了他们的数据，去寻找这种不对称。史瓦兹(Mel Schwartz)回忆起，他们的分析按我的建议在 1956 年 4 月中旬做完；最近斯坦伯格也提醒我，检验宇称不守恒的第一次实验尝试的结果，实际上是在杨和我的理论论文发表之前发表的。请看 R. Budde, M. Chretien, J. Leitner, N. P. Sanmios, M. Schwarts, J. Steinberger. Phys. Rev., 1956, 103: 1827。感谢史瓦兹和斯坦伯格告诉我他们的回忆。

来，人们就可以用统计上有意义的方法去检验超子衰变的上下不对称，这样可以对宇称不守恒的想法给出一个决定性的检验[14]。宇称不守恒显然还有很多其他的和进一步的结果，我开始对这点做研究。我对我获得的进展十分激动。

大约在5月初，斯坦伯格来到我的办公室，告诉我。他在布鲁克海文实验室刚刚做了一个有关他的实验的报告。杨在场听了这个报告，他强烈反对我关于在斯坦伯格的超子实验中由于宇称不守恒而可能存在着上下不对称的想法。随即我打电话给杨，请他在我们进一步讨论之前不要把他的反对的想法公之于众。

次日清晨，杨从布鲁克海文驱车来到哥伦比亚大学。我们进行了十分深入的讨论。我告诉他我的想法和分析。他很快相信了它的重要性，并且愿意与我一起做这个工作。

杨天赋具有高度评判能力的头脑。如果我能通过具有实质性的争论推翻他的反对意见，就会使我觉得更有信心。而且，他是一位出色的物理学家。宇称不守恒牵涉到物理学的所有方面。我想杨的参加毫无疑问会扩大最后的成果。因此我表示欢迎他。

那天，由于停车的规定，杨要在11点钟的时候换个地方停车。我们的讨论便移到125街和百老汇大街路口上的白玫瑰咖啡厅，然后又移到隔几个门远的天津饭店，在吃过午饭后回到我在哥伦比亚大学的办公室。我们的讨论包括了大量不同的物理过程，争论，辩论，有时候甚至吵嚷起来；偶然我们也转换我们的看法，以便能弄得更确切。我们在对立和和谐中一起工作，十分紧张，巨大敞开的感觉，好像整个世界就在我们的面前，年轻人无畏无惧，就是这些使生命变得意义无穷！

我们两个当然知道，有非常好的实验证据说明，在包括π介子

---

⑭ 事实上，斯坦伯格小组在1957年观察到了这一点（F. Eisler et al. Phys. Rev., 1957, 108: 1353）

和核子的强相互作用中，宇称是守恒的。但是在其他粒子的强相互作用中宇称守恒的证据是否是一样好呢？这天终了时，我们坚信对强相互作用而言宇称确实是守恒的，即使对超子也是如此。另外，在电磁相互作用中宇称守恒也有很好的证据。

我最初的论点，奇异粒子的所有弱衰变可能是宇称不守恒的，是能站住脚的。但是，对非奇异粒子的弱相互作用，需要做进一步研究，我们两个都同意我们应该研究这个问题。

在杨和我那天的合作之前，我本来想把我已经做完的奇异粒子衰变中宇称不守恒的工作先写出来。可是，杨说服了我暂且不写，因为把研究范围扩大到整个弱作用更好⑮。我们分手之后，各人继续对β衰变中的宇称问题进行研究。

因为这是我个人的回忆，我只能描述在哥伦比亚大学发生的事情，而不包括当时杨所在的布鲁克海文实验室发生的事情。

β衰变是一个有长久研究历史的领域。那时已经有了大量可供利用的知识。由于宇称守恒一直是一个在所有分析中都不言而喻的假设，宇称的概念被广泛地应用，因此需要非常慎重地去检验所有已有的实验事实，去看一看宇称不守恒是不是能够推广到β衰变。β衰变领域世界上最权威的专家之一是吴健雄，她的办公室就在哥伦比亚大学比我的办公室高几层的楼上。我访问了她，告诉她这些想法。她对此非常感兴趣，把齐格班(K. Siegbahn)编辑的β衰变的权威书籍⑯借给我看。

那时，杨和我对宇称算符P的实质意义都还不清楚。当然，我们知道它的数学特征：P应当由在希尔伯特空间里的一个幺正算

⑮ 杨对那天发生的事情的回忆和我的不同。请看《1945－1980论文选及注释》第26页～28页。

⑯ Siegbahn ed. Beta－and Gamma－ray Spectroscopy. Amsterdam: North－Holland Publishing Co.,1955

符来表示，在 P 作用下，对自旋为 1/2 的费米场，可以得到：

$$P\Psi(r,t)P^{-1} = e^{i\phi}\gamma_4\Psi(-r,t)$$

等等。没有宇称守恒，β 衰变应该用一个推广的拉格朗日函数来描述，包括十个耦合常数，常用的五个是 C_i = （i = S,P,V,A,T）以及另外五个宇称破坏的常数 C'_i。

杨和我开始系统地用推广的宇称不守恒作用对所有已知的 β 衰变现象进行研究。我们很快读完了齐格班的书，经常保持电话联系。我们花了两个星期的时间完成了全部的 β 衰变分析。在计算的能力上，杨和我不相上下。这次的比赛十分紧张，但是合作和竞赛的气氛是非常好的，我们两个都是赢家⑰。在这么紧张和广泛的计算工作中要把谁说成走在前面都是没有意义的。

我们从研究允许的跃迁谱开始，我们发现，经过一些计算，只要简单地用

$C_i^* C_j + C'^*_i C'_j$ 去代替通常的 $C_i^* C_j$ (3)

就可以得出同样的 β 分布。其次是禁戒跃迁谱，同样也可以这样做。我们随后计算了库仑效应，β－ν 关联，β－γ 关联和从极化核得到的 β 和 γ（当时已有的）。虽然某些计算相当复杂，但假设我们采用上述同样的替代，C_i 和 C'_j 之间所有的干涉项最后全部相消，得到了同样的熟识的表达式。

最后我们读到齐格班书的结尾，用这一新的相互作用重新推导了全部老公式。到那时就清楚了，并不存在任何一个证据，证明在 β 衰变中宇称是守恒的。我们又会合在一起校对计算手稿。在

⑰ 杨关于我们共同努力去研究宇称不守恒的回忆几乎完全与我的不同，甚至连非本质的细节都不同。例如，他甚至把我们如何写出论文的方式都说得不一样。和他的说法不同（杨振宁《1945－1980 年论文选及注释》第 29 页），我记得把结果写成论文是共同做的；实际上，像通常我们的合作一样，我们几乎不断地在用词上、表达上的细微差别上争论。在一段时间内修改的论文有几个稿。

讨论中我们认识到我们是多么愚蠢，为什么那些复杂的 $C_i^* C_j'$ 干涉项互相消去，这应该有一个非常简单的理由。当我们停止计算，开始思考，在非常短的时间里事情就清楚了，不存在证据的理由是一个简单的事实，就是没有任何人曾试图从看来似乎是左—右对称的安排中去观察一个赝标物理量！

从那时起，理论分析不需要什么详细的计算就可以进行了[18]。宇称之剧的下一场戏已经确定，会有很多人参加。

这里还有一个在实验上如何探测在β衰变中宇称破坏的问题。我又与吴健雄讨论了在β衰变中测量自旋—动量关联的不对称性的最好办法。她建议可以使用强极化的 ^{60}Co β源，但是为此需要建立一个低温装置。随后，她找到了华盛顿的国家标准局。于是便有了吴、安布勒(Ambler)、海沃德(Hayward)、霍普斯(Hoppes)和赫德逊(Hudson)的著名实验[19]。

1956年夏天我是在布鲁克海文实验室过的。杨和我与在那里的许多实验物理学家进行了大量的讨论，有戈德哈伯(M. Goldhaber)，德班纳德第(S. DeBenedetti)等，鼓励他们去做各种宇称实验。他们的反应各不相同。我们在那个夏天把大部分合作的时间花在了统计力学以及多体问题上。1955年黄克逊、路丁格(Luttinger)和杨研究了硬玻色球的稀薄系统的性质。他们遇到了一些困难，杨把困难告诉了我。在我们的讨论中，我们从一个与前不同角度考查了存在的问题。这使我们做出了进一步的进展。这项研究的结果就是二重碰撞法[20]的公式和与黄合作研究硬球系统的能级[21]。在这些研究中有不少曲折和进步。姑且不谈其中的物理兴

---

⑱ T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 104: 254

⑲ C. S. Wu et al. Phys. Rev., 1957, 105: 1413

⑳ T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1957, 105: 1119

㉑ K. Huang, T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1957, 106: 1135

趣,这些计算减轻了(至少对我是这样)由于等待宇称实验的结果而产生的焦躁不安。

那年夏天的一天,杨给我看一封非常有趣的信,是奥米(R. Oehme)写的,他在信中指出,在一定的限制下,要求电荷共轭(C)和时间反演(T)对称,就意味着宇称(P)必须守恒。稍后我考虑了奥米提出的这个问题。很快我就意识到,在任何相对论局域场论中,CPT 乘积总是守恒的。对我说来这是一项极为重要的定理,于是我立即对肯诺什它(T. Kinoshita),然后又对费曼解释,他们正好离我夏天在布鲁克海文实验室的办公室不远。当我向他们解释时,我忽然有一种奇怪的感觉,似乎在以前不同的场合,我曾听到过现在我讲的话。之后,我努力回想那是发生在什么场合,模糊地回忆起,那和泡利(W. Pauli)有关。确实,1954 年泡利曾到哥伦比亚大学普平(Pupin)实验室做报告,讲的是 CPT 定理。那时我和其他人一样,坚定地相信 C,P 和 T 分别是守恒的。联合对称是相对论局域场论必需的结果这一事实没有引起多大的兴趣。然而,在我的潜意识里肯定留下了某种深刻的印象,以致在几年之后又能重新出现,使我能在创记录的短时间内推导出 CPT 定理。从此以后,我总是要求自己听完我不完全理解的讲座,希望它以后某一时刻可能对我有所启发。

1956 年莱德曼和他的小组根据盖尔曼(Gell - Mann)和派尔斯(Pais)精确的理论预言[22],刚刚做出长寿命 K^0 介子(那时称做 θ_2^0)的重要发现[23],它被认为是奇异粒子衰变中 C 守恒的严格证明。由于有了 CPT 定理,我们关于宇称不守恒的工作要扩展到 C,CP 和 T 有可能不守恒上去。我们发现,长寿命 θ_2^0 的存在实际上与 C

㉒ M. Gell - Mann, A. Pais. Phys. Rev., 1955, 97:1387

㉓ K. Lande, E. T. Booth, W. Chinowsky, J. Impeduglia, L. M. Lederman. Phys. Rev., 1956, 103:1901

或者 CP 守恒完全无关,而且没有任何证据能去假设这些对称性在弱相互作用中是守恒的。

这一工作的结果,就是我们和奥米联合写的论文[24],讨论了 CP 和 T 的破坏的可能性,并提出了几种去探测这种破坏的实验方法。奇怪的是,杨对这篇论文的评价[25],过去和现在,也都与我的不同。

解决对称破坏这一问题的最后推动力几乎完全来自实验方面。据我回忆,那年圣诞节时,我刚刚完成了我、奥米和杨的论文的附录的最后修改。由于到了年底,我自然要深思一下这一年我在物理学上做了些什么。我想到了我和杨写于年初的关于 G 宇称的论文[26],之后是秋季与黄和杨的关于玻色硬球系统的解。这两篇论文都是肯定的,我想它们对物理学应该是有价值的,即使在将来也是这样。对于分立对称性的破坏,吴健雄的 β 衰变和斯坦伯格的超子不对称实验仍在进行之中,但是理论的推测已经扩展到不只是 P 和 C 破坏,而且已经到 T 和 CP 的破坏了。接着我看了一下我刚刚写下的最后一个式子,这是关于不对称参量可能偏离 1 的式子:[27]

$$r = 衰变率(K_+^0 \to \pi^- e^+ v)/衰变率(K_+^0 \to \pi^+ e^- \bar{v})$$

这是 CP 破坏的一个证明(K_+^0 现在叫做 K_L^0)。因为,从幺正性考虑,并且假定最优化条件,已经知道它与 1 偏离很小,估计约需要 $10^4 \sim 10^5$ 个长寿命 K^0 衰变事例才能定出需要的 r 值准确性。那时,总共只观察到 23 个长寿命 K^0 事例。我感到,将来无论要发生什么事,我必须沿着这一方向讨论这些方程式,当然它们在我有生

---

[24] T. D. Lee, R. Oehme, C. N. Yang: Phys. Rev., 1957, 106:304

[25] C. N. Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. 1983.32
C. N. Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. 1983.58

[26] T. D. Lee, C. N. Yang. Nuovo Cimento, 1956, 3:749

[27] T. D. Lee, R. Oehme, C. N. Yang. Phys. Rev., 1957, 106:304 的式子(A7)。

之年是没有机会被证实的。

然而,事情比我的预料发生得快得多。几天后,12 月 29 日,星期六,我收到了吴健雄打来的电话。在那半年里,她把她的大部分时间花在华盛顿国家标准局的低温实验室。但是我们一直保持着联系。她告诉我,她的^{60}Co实验结果真正地显示出宇称不守恒,但是还需要进一步检查以便确定这一破坏的准确量级。1 月 3 日,第二周的星期四,吴到我的办公室来说,她已经检查了全部的修正,破坏的效应是很大的。我向她担保这是极好的结果,因为它完全与二分量理论相符。接着我立即打电话给在奈维斯(Nevis)的莱德曼和普林斯顿的杨。

那年,杨和我同莱德曼讨论了多次,敦促他去做 $\pi-\mu-e$ 实验。但是莱德曼不太愿意去做,部分原因是他正忙于其他实验(他总是忙的),部分原因是他担心宇称破坏的效应在 π 衰变和 μ 衰变两者中可能不大;在 $\pi-\mu-e$ 级联事例中所观察到的效应依赖于乘积,因而很可能十分小。电话里,我努力对他强调,从吴的结果显示出,二分量理论肯定是正确的,无论在 π 衰变或在 μ 衰变中的效应都应该是很大的,100% 的效应乘以 100% 的效应仍应该是100%的效应。这样,他必须去做 $\pi-\mu-e$ 的实验。莱德曼说,不管怎么样,第二天他要到普平实验室来,因为是星期五了。星期五,像过去和现在那样,我们午饭总是吃中国餐。

第二天,1 月 4 日,莱德曼和奥里尔以及其他好些同事去上海咖啡店,在我反复讲了吴的关于宇称破坏的结果、二分量理论等等之后,我们的讨论很快集中到如何做 $\pi-\mu-e$ 实验上去了。莱德曼说,他有一个学生,马赛·温瑞奇(Marcel Weinrich),正在做康凡西－皮西奥尼－潘西尼(Conversi－Pancini－Piccioni)有关 μ 俘获和 μ 衰变的经典实验。要做新的实验,他只需慢慢地转动已存在的计数器去观察在最后电子的方向中有没有什么角度不对称。另外一个方法是用乳胶,奥里尔说他愿意去试试。后来发现,泰勒格第

(V.Telegdi)和费雷德曼(J.Friedman)已经在芝加哥开始做这项实验了。

当然,μ 子在停下来的过程中,它的自旋可能被退极化。这个问题使我感到困惑,同样,也许其他参加讨论的人也感到困惑。尽管如此,最好的方法是去试一试,于是莱德曼说,他可能大约在两周的时间里得到结果。周末,伽温(R.Garwin)参加到这个实验里去。进展速度比预料的快得多。使我大为吃惊的是,三天之后莱德曼在早上6点钟刚过,就打电话给我,说宇称死了,他们得到了"22个标准偏差"的效应!

在1957年诺贝尔奖金的消息传来的时候,我正在普林斯顿。我感到非常兴奋和感激,便给我的老师吴大猷教授写了一封信,表达了我对他的深深的感激,没有他在中国时亲自给我的指导,并在1946年给我提供奖学金,我的生活就会完全不同。11月我和我的夫人惠箬为去瑞典做准备。杨和我都必须写我们的讲演和发言。在讨论要做些什准备的时候,杨要求能不能按年龄的次序在授奖仪式上去接受奖金。我大为惊讶,但是勉强同意了他的要求。

1957年之后,我回到纽约。杨和我继续合作了几年。那时,我们很有规律地每周会面两次,这是在我们合作从事宇称不守恒工作之后很快就确定了的工作模式:通常杨星期四到纽约来,我星期二去普林斯顿。

在哥伦比亚大学我经常与实验物理学的同事们接触;在高等研究院,杨就没有这种有利条件。由于粒子物理学的许多进展都取决于实验物理学家与理论物理学家的密切联系,这在杨和我之间产生了一种不对称,下边的例子就足以说明。

1959年秋,我对弱相互作用的高能行为发生了兴趣,与莱德曼,史瓦兹和斯坦伯格就实验的可能性进行了多次讨论。有一次,我们想产生高能 μ 子束并用诸如 $\mu + p \rightarrow \upsilon + \cdots\cdots$ 反应作为探测手段。过后有一天,史瓦兹想改用高能中微子。下边是他关于那件

事的回忆:[28]

“哥伦比亚的中微子实验的开头,起源于在普平(Pupin)实验室八楼的一个日常喝咖啡的休息时间。每天,在那儿,老师和研究生们快乐地相聚半小时,放松他们日常的工作。……

“在1959年11月一个星期二的下午喝咖啡休息时,我恰好到得稍晚,我发现已有活跃的一群人围绕着T.D.(政道,这是我们通常对李政道的称呼)讨论什么是最好的方法去研究高能量下的弱作用。在黑板上写着很多不同种可能的反应,用了所有知道的粒子——电子、质子、中子。可是没有一个是合适的。……

“那天晚上,忽然我想到,这是很简单的,只需要用中微子。因为中微子的作用很弱,所以一切它们的作用是弱作用。第二天早晨,我奔到李政道的办公室……。”

这就是通向未来进展的决定性的一步。杨和我随后写了有关理论上的多方面含义的文章[29]。这篇论文与史瓦兹的论文[30]一起成为1962年莱德曼、史瓦兹、斯坦伯格和其他人做的著名的两代中微子实验的基础[31]。

由于在我的三个同事进行他们的实验时我比较接近他们,当他们有理论上的问题时,他们总是来找我,而不是去找杨。这样,杨和我之间的微妙对称关系就受影响了。但是,在那时(1959年)我没有注意这么轻微的不对称将会在一段时间之后严重地影响了我们之间的对称,而且最终在使我们的合作和我们的友谊受到破坏中起了一定的作用。

㉘ B.Maglich ed. Adventures in Experimental Physics, Volume α. Princeton: World Science Communications, 1972.82

㉙ T.D.Lee, C.N.Yang. Phys.Rev., 1960, 4:307

㉚ M.Schwartz. Phys.Rev., 1960, 4:306

㉛ G.Danby, J. M. Gaillard, K. Goulianos, L. M. Lederman, N. Miatry, M. Schwartz, J. Steinberg. Phys.Rev., 1962, 9:36

四、友谊的破裂

1962年捷梅·伯恩斯坦(Jeremy Bernstein)写了一篇有关杨和我的侧记，发表在5月12日的〈纽约客〉杂志上。我们在四月就收到了伯恩斯坦文章的校样。在修正了某些小节之后，杨说文章中有“某些令人痛苦的地方”，希望要讨论一下。在文章中的某些地方，他希望他的名字要写在我名字的前面：①标题上；②诺贝尔奖金宣布时；以及③在我们接受奖金的时候。另外，还有他夫人的名字致礼也要放在惠箬的前面，因为致礼年长一岁。第二天，他来我这里并说那文章中凡是提到“李和杨写了……”的地方都要加一个注，说明这是由于字母次序排列的习惯。我对他说，他太无聊了。那天晚上，他打电话给我说，或许不要加注了，但是在那文章中都要写成“杨和李写了……”。我发呆了。

稍后，根据杨的说法，4月18日，他到我办公室来[32]，说他让名字的次序简直弄得越来越深觉烦恼了，而这个问题已经扩散到所有我们合作的工作中去：“李和杨”，按字母次序排使他不高兴；“杨和李”让人们觉得他好笑，而乱排姓次也使人看了觉得奇怪。这真正是“进退维谷”了。所以我建议或许我们今后不再合作为好。随即，他变得非常激动，开始哭起来，说他非常愿意和我一起工作。我感到困窘和无能为力，和他耐心地谈了好长一段时间。最后我们同意，至少在一定的时间里我们不再合作，然后再作决定。

那年6月，当莱德曼、史瓦兹和斯坦伯格的两代中微子的实验结果已准备好要发表，杨又变得极度的焦躁不安，担心在他们的文

㉜ 杨关于此事的说法和我不同。请看他的《1948－1980年论文选及注释》第53页。他说，1962年4月18日的会面，是为了共同回顾并达成对我们合作的一致看法。这完全和我自己的回忆不同。

章中的致谢辞里我们姓氏排列的次序。万万没料到,杨接着给我来了一系列的信,很不愉快且充满了敌意。我对所有这些事感到非常遗憾,并意识到我们的友谊不会再继续了。

我和杨的合作在二十年前结束了。它的价值,就如我们已发表的科学论文所表现出的那样,经得起时间的考验,不需要更多的说明。可是,使我真正感到伤心的,是因为新近出版的《杨振宁1948-1980年论文选及注释》一书使我不得不写这篇文章。

超子衰变的早期宇称实验和50年代哥伦比亚大学的其他往事回忆[①]

曼温·史瓦兹(Melvin Schwartz)

我今天作报告的目的是想尽我所能把1954年～1964年在哥伦比亚大学那一段真正值得大书特书的十年的情形再现出来。对我们中间那些曾参与这一时期活动的人们,这一时期必然是我们一生中最有创造性的时期。这个时期是一个具有无比兴奋和成就的时期。当然,它的中心就是我们的老师和我们的灵感的来源——李政道。

粒子物理学的50年代初期是这样一个时期,在那时期已有足够多的奇异粒子,如K介子和超子,产生出来供我们进行比较细致的研究。布鲁克海文实验室的同步稳相加速器(Cosmotron)刚建成运转,一些研究小组进行实验去产生和测量那些奇异粒子的特性。特别是,当时有一个突出的问题占据着多数粒子物理学家的头脑,不论是理论家还是实验家,那就是$\tau-\theta$之谜。

现在,τ和θ这两个符号的意义已和那时不一样了。简单地说,那时用$\tau^{\pm}$表示能衰变为$\pi^{\pm}\pi^{+}\pi^{-}$的K介子,而$\theta^{\pm}$表示能衰变

---

① Melvin Schwartz. Early Parity Experiments in Hyperon Decay and Other Recollections of Columbia in the Fifties. R. Novick ed. Thirty Years Since Parity Nonconservation. Boston: Birkhauser Inc., 1988. 11～14

为 $\pi^{\pm}\pi^{0}$ 的 K 介子。当然，热烈争论的问题是，它们是同一个粒子的不同表现形式吗？

现把在 1954 年 ~ 1955 年对 $\theta^{\pm}$ 和 $\tau^{\pm}$ 的认识总结如下：

1.在实验误差的范围内，两个粒子具有差不多相同的质量。

2.达立兹(Dalitz)提出了用衰变中相对动量的密度分布图来确定 τ 自旋的方法。很清楚，τ 是自旋为 0 的粒子，它必定是0^-②。如果 θ 的自旋为 0，它必定是 0^+③。

3.在不同角度 τ 和 θ 的产生率的比的测量结果是个常数。因此，τ 和 θ 产生的机制应该是完全一样的。

4.最使大家惊异的是，τ 和 θ 的寿命是一样的，尽管它们具有十分不同的衰变模式，并且其相空间也很不同。

总而言之，如果不考虑一个是标量，另一个是赝标量的事实，任何一个推理的人都会做出这样的结论，即 τ 和 θ 实际上是同一个粒子。

在那个时候，要接受在这些衰变中宇称不守恒的概念是很难的。确实，李是那两篇想换一种方法来解决 τ 和 θ 之谜的论文的作者之一。一篇论文是李和奥里尔(Orear)做的，提出了从长寿命的 χ 介子到短寿命的 K 介子的 γ 射线的级联过程。另一篇文章中，李和杨振宁提出被称为宇称双重态的建议，当奇异数是奇数时，必须存在镜像奇偶宇称双重态。无须说，李 - 奥里尔 γ 射线从来也没有被探测到。宇称双重态机制也不能成立，因为它根本不能解释 θ 和 τ 寿命相同的事实。

我个人首次参与宇称破坏的研究工作是在 1956 年春。尼克·塞缪斯(Nick Samios)，杰克·雷特奈尔(Jack Leitner)和我当时都是研究生，跟杰克·斯坦伯格(Jack Steinberger)一起用泡室首次详细

---

② 译者注：这里 0^- 指自旋为 0，宇称为负。

③ 译者注：这里 0^+ 指自旋为 0，宇称为正。

研究奇异粒子的产生和衰变。斯坦伯格刚开完罗彻斯特会议回来,在会上他宣布了我们对于以下过程所得的结果:

$\pi^- + p \to \Lambda^0 + K^0 \qquad \Lambda^0 \to \pi^- + p$

和

$\pi^- + p \to \Sigma^- + K^+ \qquad \Sigma^- \to \pi^- + n$

那时提出的一个问题是 Λ^0 或 Σ^- 的自旋。通过对产生和衰变平面之间的角关联的研究,我们可以确定 Λ^0(或 Σ^-)的自旋是 1/2 或 3/2。

让我们集中注意,取产生平面的法线 $\hat{n}_p$ 沿着 $\vec{P}_\pi \times \vec{P}_\Lambda$ 的方向,在 Λ^0 质心系中衰变平面的法线 $\hat{n}_D$ 沿着 $\vec{P}_\Lambda \times \vec{P}_p$ 的方向,定义 φ 角为:

$\cos\varphi \equiv \hat{n}_p \cdot \hat{n}_D$

这一角度叫做产生平面和衰变平面之间的二面角。如果 Λ^0 的自旋为 1/2,那么 φ 的分布是均匀的。另一方面,如果 Λ^0 的自旋为 3/2,且在生成时有一定的极化,那么它的分布形式是:

$D(\varphi) \propto 1 + \alpha\cos^2\varphi$

我们画出了 φ 从 0 到 π 之间的数据分布,虽然很清楚,由于 $D(\varphi) = D(\pi - \varphi)$,实际上只需要画出从 0 到 $\pi/2$ 之间的分布就行了。

无论如何,我记得十分清楚,在罗彻斯特会议(4 月 3~7 日举行)之后,斯坦伯格立刻回到奈维斯(Nevis)实验室,告诉我们,当他在会后与李政道讨论二面角的分布时,李有一个非常重要的想法。李建议斯坦伯格,让我们把数据从 $\varphi = 0$ 到 $\varphi = 2\pi$ 进行划分。特别是,从 $\varphi = 0$ 到 $\varphi = \pi$ 的数据应该对应于大致沿着 $\hat{n}_p$ 方向的来自 Λ^0 衰变的质子,而从 $\varphi = \pi$ 到 $\varphi = 2\pi$ 的数据,应该对应于大致沿着与 $\hat{n}_p$ 相反方向的质子。如果存在非对称性,那么这就会是在 Λ^0 衰变中宇称破坏的一个明显的例证。

不用说,我们又重新分析了这些数据,但是由于数据不够多,

不足以得出什么结论。

正如许多伟大的思想一样，关于在弱相互作用中宇称不守恒的想法到处冒出来大约已有一年时间。不是李也不是杨首先提出这一问题，事情的关键是**下一步怎么办**。如何能解决这个问题？什么实验能够检验这一假说？事实上，就我所知，沿着这一线索前进的最早的建议产生于斯坦伯格与李政道的那次谈话，那时李建议我们去检查一下我们的数据，以寻找不对称性。

这时，李和杨所走的下一重要步骤，就是详细地研究文献，看看大量的有关 β 衰变的工作有没有显示出宇称的破坏。不用说，在任何 β 衰变谱和衰变率的测量中，他们的确没有发现什么东西能够说明有这种破坏。确实，为了寻找这种效应，必须总是去注意赝标量类型的参数，但是从来没有一个这种参数被研究过。

李和杨随后确信，过去没有任何证据能够证明或者否定在弱相互作用中(除去 $\tau-\theta$ 之谜)宇称是不守恒的，并提出了一系列能够说明这一问题的实验建议。其后的情形是大家都知晓的历史了。1956 年吴健雄和她的同事们证明了在 β 衰变中宇称是不守恒的。随后莱德曼(Lederman)和伽温(Garwin)的实验和泰勒格第(Telegdi)的实验则把这一结果扩展到 $\pi-\mu-e$ 链。而大约八个月后，阿尔瓦雷兹(Alvarez)小组以及我们自己的合作小组也成功地在 Λ^0 衰变中发现了不对称，把宇称破坏扩大到奇异粒子的衰变。那时，宇称不守恒已经是“老掉牙”了。

可以体会，50 年代在哥伦比亚大学作研究生真是难忘的经历。

我的第二件有关政道在我的生活中起了重要作用的回忆，是从 1959 年秋天开始的。那时，我是一个年轻的助理教授，主要在奈维斯做研究工作，同时要在学校教书并参加其他活动。每当下午去学校时，我总是到第八层楼去参加下午喝咖啡的聚会。总是由政道站在黑板前引导着讨论，每一个人都兴奋地参加。我非常

清楚地记得,有一天下午讨论的题目是高能弱相互作用的研究。讨论了各种各样的想法,但是没有一种是可行的。那天晚上,受到政道启发的一个直接结果,是我想出了利用中微子来做探针。这就是最终在1962年完成的第一个高能中微子实验的起源。④

我想强调的,不仅是李政道的犹如“珍珠贝中的沙粒”那样的给予灵感的作用,而且是他不断地把人们的注意力集中在实验上可能的重大结果上的那种重要作用,这一结果就是 μ 中微子的确认。在这之前,费因伯格(Feinberg)在一篇相当重要的论文里曾经指出,如果有中间玻色子,那就无法解释在 μ 衰变中 $\mu \rightarrow e+\gamma$ 远低于 10^{-5} 这一事实,除非有两种类型的中微子。(在一段时间里,事实上,这是作为反对这种玻色子的一个论据。)1960年夏天,在罗彻斯特会议上,李提出了一个**非常重要的想法,任何**一种能想到的机制,只要它给弱相互作用一个固有的尺度,就**必然**会导致 $\mu \rightarrow e + \gamma$,除非存在两种类型的中微子。此外,该固有的尺度必须**小于** 300 GeV,否则么正性在弱相互作用中会被破坏。这就可以得到费因伯格的论文里所提到的关于 10^{-5} 的分支比的结论。简言之,李在1960年已经证明,**必须**有两种中微子,而我们的实验结果则实际上完全没有出人意料。

总之,政道是哥伦比亚大学那伟大的十年里,粒子物理世界的伟大指导人物。他亲自引导我,我以后在任何其他地方再也没遇到过这种机遇了。我要利用这一机会表示我的感谢,因为他使那一伟大时期成为可能。

---

④　译者注:1962年莱德曼、史瓦兹和斯坦伯格用高能中微子实验证明了 μ 中微子的存在,因而获得1988年诺贝尔物理奖。

往　事　回　忆[①]

李政道

早期芝加哥的岁月

四十年前，经吴大猷教授的推荐，我获得了中国政府的一笔奖学金赴美留学，在物理学方面继续深造。他给我的这一难得的机会改变了我的一生。一个人的成功有着各种各样的因素，其中“机遇”也许是最重要的；但从它的本质来说，也是最难驾驭的。尽管机遇不可能预定，但它的出现几率至少在统计的意义上却可以人为增加。我对于1946年的那一机遇的珍视，是促使我近年来组织CUSPEA[②]考试的主因之一，希望更多类似的机遇能够光顾其他年轻人。

1946年9月我来到美国。当时我只有两年大学本科的学历，但自己已熟悉了经典物理学，对量子力学亦有所了解，因此，对读

① T. D. Lee. Reminiscences. R. Novick ed. Thirty Years Since Parity Nonconservation. Boston: Birkhauser Inc., 1988. 153 ~ 165

这里的部分内容已发表于Evolution of Weak Interaction(CERN Report. 1986. 8607)和T. D. Lee. Broken Parity. T. D. Lee Selected Parers, volume 3. Boston: Birkhauser Inc., 1986, 3:487 ~ 509

② 这是“中国-美国联合招考物理研究生项目”的英文简称(China – United States Physics Examination and Application Program)。

研究生院是很有信心的。可是,那时没有大学本科的文凭,进研究生院几乎不可能。芝加哥大学是个例外,她能够接受没有正式文凭的学生,但是有一个要求:该生必须熟读过胡庆斯(Hutchins)校长指定的几十本西方文化的古今名著,并通过对这些名著的考试。可是当时的我,连对这些名著的书名和作者都完全空白,我向芝加哥大学招生办公室的负责人解释:我对东方文化的名著,孔子、孟子、老子等的学说尚有些造诣,而这些东方名著与胡庆斯校长指定的书的文化水平相当。她信了,觉得这也有其道理,就让我进入芝加哥大学的研究生院。

另一件使我惊喜的事是我发现:在第二次世界大战刚结束之后,当时的芝加哥大学物理系的教师队伍是世界第一。那里萃聚了一批国际第一流的物理学家,其中有钱德拉塞卡(S. Chandrasekhar),费米(E. Fermi),J·迈耶(J. Mayer),M·迈耶(M. Mayer),曼利肯(R. Mulliken),泰勒(E. Teller),尤利(H. Urey)和扎克赖亚森(W. Zachariasen,系主任);稍后温才(G. Wentzel)也来任教。物理系的研究生也是才气逼人,有阿格纽(H. Agrew),安德森(J. Anderson),张伯伦(O. Chamberlain),邱(G. Chew),伽温(R. Garwin),戈德哈伯(M. Goldberger),劳德(J. Lord),奥里尔(J. Orear),罗森布鲁斯(M. Rosenbluth),塞洛夫(W. Selove),斯坦伯格(J. Steinberger),斯顿海默(R. Sternheimer),替丘(H. Ticho),特莱曼(S. Treiman),威尔科克斯(H. Wilcox),沃尔芬斯坦(L. Wolfenstein)和杨振宁。

我入学后做的第一件事情就是阅读芝加哥大学介绍各学科各系的说明书。我记得那上面说芝加哥大学物理系器重出类拔萃的学生,系里并不鼓励学生去修课。当然系里也为那些需要指导的学生设立课程。我心里想这才是一个名牌大学应有的风格。在云南的西南联大则截然不同,在那里学生必须修课。尽管如此,我还是选了泰勒的量子力学,扎克赖亚森的电磁理论以及随后选了两位迈耶的统计力学。刚开始上课时,我担心我在泄露自己不是"出

类拔萃”学生的秘密,但当我看到许多同学也在修这些课,我就放心了。

不久,我兴高采烈地被邀请参加了费米晚间开的课(上此课的学生必须是被邀请参加的)。也正是在这个场合,我第一次体会了费米的工作方法。课堂上讨论的内容囊括物理学的所有领域。费米有时从他的文件夹里随机抽出一张卡片,上面写着一个课题和一个关键公式,他便从此讲起。令人叹为观止的是费米从零开始,在一堂课的时间里,给出这个课题有关的深刻的物理思想、公式和数值估计。他从一个领域跨越到另一个领域的本事实在使人钦佩之至。

有一次,费米刚好抽出了上面写着群论的一些课题的卡片,只写了课题的名称。这些课题的次序竟是按字母排列的。于是费米就按字母次序讲起来。先讲 Abelian group(阿贝尔群),再讲 Affine correspondence(仿射对应),接下去是 Central of a group(群的中心),然后是 Character of a group(群的特征)等等。我们有些人对这种非正统的讲课方式感到困惑。费米说:“群论不过是定义和术语的堆积,字母次序和其他次序没有什么分别”。尽管他这么说了,包括我自己在内的一些对运用置换群改变次序不熟练的学生还是遇到了一些困难。

在芝加哥大学读书的日子里,杨振宁和我成为很亲密的朋友。杨极聪明。我们当时都很年轻,而且对各种问题充满好奇心。我们时常有不同的想法和观点,有时我们的讨论相当热烈。这也为我们的学生时代增添了许多内容。

另一件关于大学生生活的事使我记忆犹新,是在费米教授家里的方块舞聚会。那是我首次在美国接触西方文化。费米的舞姿,拉玛(费米夫人)的果汁饮料和阿格纽的有力的“do - si - do”的口令给我留下了深刻的印象。

1948 年春天,通过了博士资格考试之后,我在费米教授指导

下做论文。费米和他的学生的关系十分密切。每周我定期单独半天与他讨论物理。此外,通常我们一起在 Commons(芝加哥大学的大餐厅)吃午饭,时常还有其他同学参加。那时费米正对宇宙线的起源和原子核的合成感兴趣,他先指导我做核物理③,后又转入天体物理。他经常让我就某个课题考虑一下,并查阅一下有关文献,过一个星期给他一个"演讲"。他很客气地说,这样,他也可以了解这些课题。当然这对我是一个鼓励,通常完成任务后感觉很兴奋。很久以后我才意识到这是指导学生独立工作的绝妙方法。

费米注重培养学生的自力更生精神,对问题要有独到见解。他的学生必须能够证明或推导所用的一切公式。记得有一次,我和他讨论太阳的内部结构,有关其辐射传递的一组微分方程,其解答相当复杂。由于这并不是我的研究课题,我不想花太多的时间去做繁复的验证,于是我就引用了有名的文献上的结果。而费米却认为一个人绝对不能接受自己没有独立验证过的别人的计算结果。他巧妙地设计了一个专用算尺来处理这套微分方程:

$$dL/dr \propto T^{18} \text{和} \ dT/dr \propto L/T^{6.5} \qquad (1)$$

(其中 L 为亮度,T 为温度)。在一个星期的时间内,他帮我做成了这个六英尺七英寸长的颇为壮观的大算尺(如图 1 所示),一边的刻度是 18logx,另一边是 6.5logx。有了它连积分也变得好玩了。我就很快检验了所有的计算结果,然后转入下一个课题。这次独一无二的经验使我终身难忘。直到现在,有时当我遇到困难的时候我还会想:在类似的情况下,费米会怎样做?

1948 年,费米实验室里的另一个学生,斯坦伯格正在做实验研究 $\mu \to e + \cdots$ 衰变的电子谱④。我们对他的实验结果讨论了很多。他的实验显示了 μ 衰变和 β 衰变一样,涉及了四个费米子。

③ 40 年代的核物理包括(现在所称的)粒子物理在内。

④ J. Steinberger. Phys. Rev., 1949, 75:1136

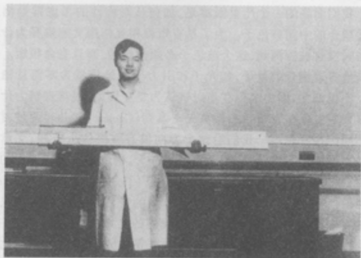


图1 1948年，费米和我手做的，为计算主序星内部温度分布的专用算尺。

我对此很感兴趣，罗森布鲁斯和杨振宁也有兴趣。他俩当时是泰勒的学生。除了β衰变之外，是否存在着其他的反应也可以用费米理论描述？我们三人决定对此做一系统探讨。

我们发现，如果μ衰变和μ俘获用一个类似β衰变的四费米子相互作用来描述，则它们所有的耦合常数大致相同。这就是弱作用普适性的开端。我们接下来推测，基本的弱作用与电磁作用类似，可通过一个重玻色子的普适耦合来传递。我后来称此玻色子为 W$^{\pm}$（取英文 weak 的第一个字母）。自然我们将此发现报告了费米，他大大鼓励了我们一番⑤。

---

⑤ 作者注：正式物理文献上基本不用"I"，都用"We"，这就是"Royal we"。这习惯也常用在科学研究的叙述文章中。本文的"我们"，很多是"Royal we"，其实是"我"。为保存原文的风格，"We"和"Royal we"都译为"我们"。

我们面临的一个严重困难是,如何从对称性的考虑推导出这普适耦合的中间玻色子。为了具有短程相互作用又能解释为什么在当时没有被探测到,这个玻色子必须是重的,而且寿命很短。然而其他普适耦合的量子,如光子和引力子都是质量为零而且稳定的。不仅如此,因为宇称在当时被认为是守恒的,很难理解为什么在 β 衰变中存在着费米和伽莫夫—泰勒(Gamow - Teller)两种对称性不同的相互作用。我们沿这个方向没有取得什么进展,文章也就一直拖着没写。1948 年 12 月底的一天,费米把我们叫到他的办公室,并告诉我们他刚刚收到蒂欧姆诺(Tiomno)和惠勒(Wheeler)的两份预印本⑥,其中也讨论了弱作用的普适性。他执意要我们立刻发表我们的结果,而且他将把我们的文章送一份给惠勒并附一信说明我们的工作是早几个月独立完成的。他考虑得如此周到,使我们深受感动。

这次在粒子物理领域的浏览之后,我又完全回到天体物理,并且于 1949 年年底在费米指导下完成了关于白矮星的博士论文。经费米推荐,钱德拉塞卡热情地邀请我到耶克斯(Yerkes)天文台与他工作了八个月。之后我去加州大学伯克利分校(Berkeley)工作了一年,然后去了普林斯顿高等研究院(Institute for Advanced Study)。1953 年我来到哥伦比亚大学任教。

宇称不守恒

50 年代中期,通过达立兹(Dalitz)和其他人的工作,$\theta - \tau$ 问题成为粒子物理中的一大疑案。为什么两种自旋为零、宇称相反、衰变道不同的粒子具有相同的质量和寿命?

---

⑥ J. Tiomno, Wheeler. Rev. Mod. Phys., 1949, 21: 144
J. Tiomno, Wheeler. Rev. Mod. Phys., 1949, 21: 153

我探索这一问题的最初努力是沿一条错误道路走的。1955年夏天,奥里尔和我在传统理论的框架中给出一种解释⑦。我们提出了一个级联机制,结果发现是不对的。

在 $\theta-\tau$ 衰变中宇称也许不守恒的念头曾在我脑海中闪过。毕竟,奇异粒子顾名思义是奇异的,为什么它们要服从宇称守恒律? 问题是,在你说"宇称在 $\theta-\tau$ 衰变中不守恒"之后,接下来怎么办? 因为假如宇称不守恒仅存在于 $\theta-\tau$ 系统,**那我们已经有了全部的观测结果**,即同一种自旋为零的粒子能够衰变为具有不同宇称的 2π 末态或 3π 末态。我同杨振宁讨论了这种可能性,但没有取得任何进展⑧。结果我们反而写了一篇宇称双重态的论文。这又是一个错误的尝试⑨。

1956年,斯坦伯格(是我芝加哥大学的同学,50年代又是我哥伦比亚大学的同事)和另外一些人正在从事超子 Λ^0 和 Σ^-(它们和 $\theta-\tau$ 一样也是奇异粒子)的产生与衰变的大量实验,即:

$$\pi^- + p \rightarrow \begin{cases} \Lambda^0 + K^0 \\ \Sigma^- + K^+ \end{cases} \qquad (2)$$

$$和 \left.\begin{matrix} \Lambda^0 \\ \Sigma^- \end{matrix}\right\} \rightarrow \pi + N \qquad (3)$$

产生平面与衰变平面的二面角对于决定超子自旋极为重要。设 $\vec{\pi}$,$\vec{\Lambda}$ 和 $\vec{N}$ 为(2)式中的 π,Λ 和(3)式中 N 的动量,所有动量都是参照各自的反应的质心坐标系而言的。产生平面的法线平行于 $\vec{\pi} \times \vec{\Lambda}$,衰变平面的法线平行于 $\vec{N} \times \vec{\Lambda}$,因而二面角 φ 的余弦为:

$$\cos\varphi \propto (\vec{\pi} \times \vec{\Lambda}) \cdot (\vec{N} \times \vec{\Lambda}) \qquad (4)$$

---

⑦ T. D. Lee, J. Orear. Phys. Rev., 1955, 100:932

⑧ High Energy Nuclear Physics. Proceedings of the 6th Annual Rochester Conference. New York: Interscience Publishing Co., 1956(VI):20

⑨ T. D. Lee, C. N. Yang. Phys. Rev., 1956, 102:290

它的分布为：

$D(\varphi)=1$ 如果超子自旋为 1/2,

$D(\varphi)=1+\alpha\cos\varphi$ 如果超子自旋为 3/2 (5)

依此定义,φ 的变化范围为 0 到 π,不但如此,$D(\varphi)$与 $D(\pi-\varphi)$恒等。在 1956 年 4 月初的罗彻斯特(Rochester)会议上,斯坦伯格作了一个报告并把 $D(\varphi)$的数据作了图,其中 φ 从 0 变化到 π。然而其他物理学家,瓦尔克(W.D.Walker)和舒特(R.P.Shutt)等作了 $D(\varphi)+D(\pi-\varphi)$的图,这样 φ 只需从 0 变到 $\pi/2$。会后一两天,斯坦伯格来到我的办公室与我讨论卡布拉斯(R.Karplus)的一封短信;卡布拉斯问为什么斯坦伯格不把 φ 角的变化范围限于 0 到 $\pi/2$,由于事件总数在当时相当少,因而把 $D(\pi-\varphi)$的数据叠加到 $D(\varphi)$上会增加决定自旋的实验灵敏度。

由(4)式定义的二面角与宇称毫不相干,因为它是一个标量。在讨论过程中我突然意识到可以用另一观点看这个角 φ:如果我们改变 φ 仅仅是二面角的定义,而把它看做是绕 Λ 动量矢量的,也就是绕两个平面相交线的旋转角,则 φ 的变化范围就增至从 0 到 2π。这就是说,不仅可引进(4)式的标量,我们还可以引进一个赝标量:

$$\sin\varphi \propto (\vec{\pi}_\perp \times \vec{N}_\perp)\cdot\vec{\Lambda} \tag{6}$$

其中 $\vec{\pi}_\perp$ 和 $\vec{N}_\perp$ 代表 $\vec{\pi}$ 和 $\vec{N}$ 垂直于 $\vec{\Lambda}$ 的分量,如图 2 所示。

如果宇称在奇异粒子衰变过程中不守恒,就会存在着 φ 从 0 到 π 的事例数与 φ 从 π 到 2π 的事例数的不对称。**这就是我一直没有找到的钥匙!** 宇称不守恒的想法现在可以应用到 $\theta-\tau$ 以外的系统,因而变成了一个可以检验的假设。

我当时相当激动,催促斯坦伯格立刻重新分析他的数据,用实验检验宇称不守恒假设。这就导致了检验宇称不守恒的第一个实验尝试。由于把 φ 从 0 到 2π 重新制图比较简单,斯坦伯格和他的合作者(布德(Budde),克瑞廷(Chretien),雷特奈尔(Leitner),塞缪

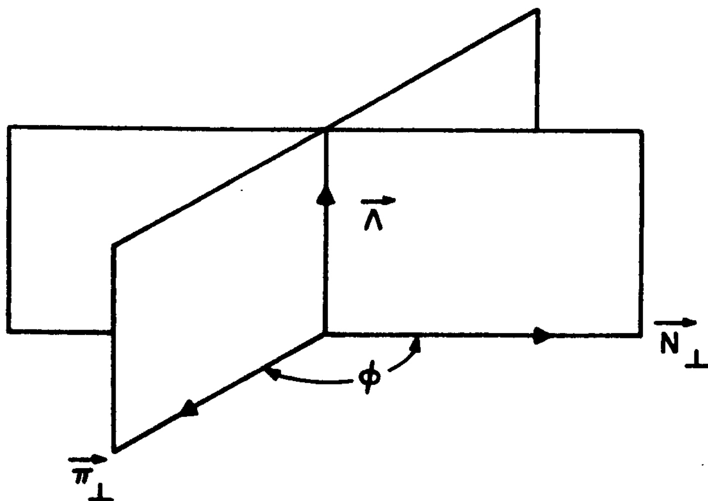


图 2 产生平面和衰变平面之间的二面角 φ。根据定义，φ 从 0 变到 π。然而，如果把 φ 也看成绕 $\vec{\Lambda}$ 旋转的角度，它的范围可以增加到从 0 到 2π。

斯(Samios)和史瓦兹(Schwartz))很快得到了结果。他们的文章[10]甚至发表在宇称不守恒的理论文章[11]之前。衰变事件数的不对称在 Λ^0 为 7:15，在 Σ^- 为 13:3。诚然，因为统计局限，尚不能以此定论。但这些初步数据鼓舞人心，意义深广，我为此突破兴奋不已。宇称不守恒显然有其他很多进一步的结果，对此我开始紧张地探讨。到了 4 月底，我基本上完成了对奇异粒子衰变的理论研究。

在这段时间内，我和斯坦伯格有过几次讨论。5 月初的一天，他来看我并提到他刚刚在布鲁克海文(Brookhaven)就他的实验作了一个报告，杨振宁也在听众中，可是激烈反对我的关于宇称不守

[10] R. Budde, M. Chretien, J. Leitner, N. P. Samios, M. Schwartz, J. Steinberger. Phys. Rev., 1956, 103:1827

[11] T. D. Lee, C. N. Yang: Phys. Rev., 1956, 104:254

恒会导致超子衰变不对称的想法。我于是给杨打了一个电话，告诉他自罗彻斯特会议我们最后一次见面之后，在理论上有了一个突破。我请他在他和我当面讨论之前，不要再公开表示他的反对。

第二天早晨，杨振宁从布鲁克海文开车到哥伦比亚大学，我们深入热烈地讨论了一天。我仔细地告诉他我的想法和分析。他很快就相信了其重要性，并表示愿意与我合作。

杨振宁具有高度批评性的眼光，我必须能用坚实的论证克服他的反对，这往往使我更加自信。而且他还是一个优秀的物理学家。宇称不守恒涉及物理学的各个领域。我认为杨的参加无疑会使最后的成果更加丰硕。因此我表示了欢迎。

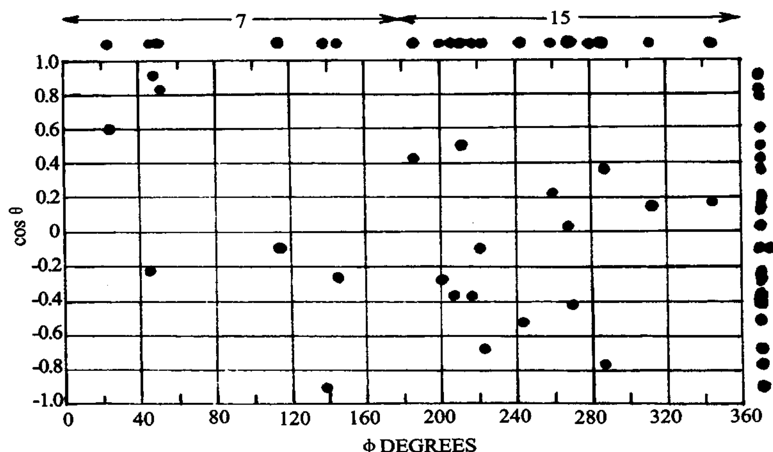


图 3a 在 $\pi^- + p \to \Lambda^0 + \theta^0$，$\Lambda^0 \to \pi^- + p$ 反应中，极角 θ 的余弦对方位角 φ 的角关联图。在图的两边的点直方图表示对另一坐标的数据的积分值。

那一天，我们的讨论包括了大量的物理过程。我们不断地争论，辩论，有时甚至大声喊叫。有时我们也会静下来，互换各自的观点，核实我们的结果。这种对立与和谐交替的紧张合作，这种面对一个崭新世界的强烈感觉以及青年人无所畏惧的精神，使得生

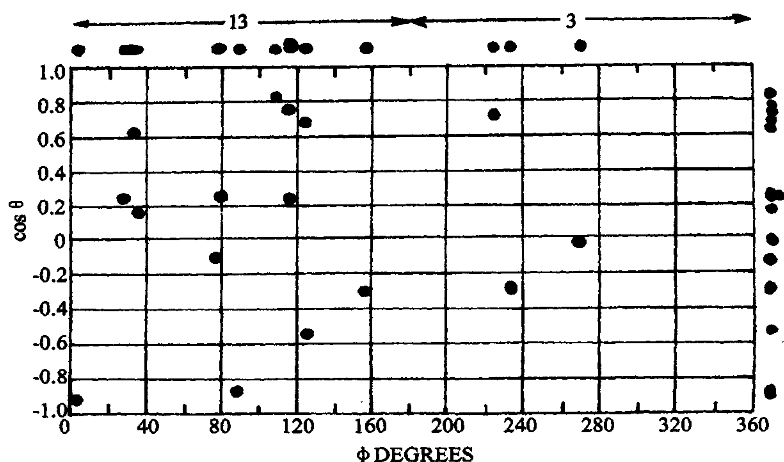


图 3b 在$\pi^- + p \to \Sigma^- + K^+$,$\Sigma^- \to \pi^- + n$反应中,极角$\theta$的余弦对方位角$\varphi$的角关联图。

活更有意义!

我们当然知道在强相互作用中存在着宇称守恒的良好实验证据。但是这证据有多牢固?那天讨论结束时,我们确信宇称在强作用中确实守恒(即使对于奇异粒子)。此外,在电磁作用中也有宇称守恒的很好的证明。

我最初的想法,即所有奇异粒子的弱衰变可以违反宇称守恒律,完全站住了脚。然而对于非奇异粒子的弱相互作用,宇称是否守恒仍需进一步研究。我们两人都同意朝这个方向努力。

在杨振宁参加合作那天以前,我曾准备把奇异粒子弱衰变过程中已做好的宇称不守恒的研究先写出来发表。但是杨劝我等一下,因为把宇称不守恒的想法拓广到整个弱相互作用后再写文章可能更完整一些。我们分别后各自检查β衰变中的宇称问题。

β衰变当时已是一个历史很长并且积累了大量知识的领域。因为宇称守恒一直是所有分析中隐含的假设,而且宇称这一概念

已被普遍采用,所以需要对所有可以利用的实验事实作极其仔细的检查,才能确定宇称不守恒的概念是否可以推广到β衰变。吴健雄是世界上在这一领域的大专家。她在哥伦比亚大学的办公室就在我的办公室几层楼之上。我于是拜访了她,并向她介绍了这些想法。她对此极感兴趣,并借给我齐格班(K.Siegbahn)编辑的β衰变的权威著作⑫。

那时,由于宇称守恒的假设,β衰变用一个包含五个耦合常数 $C_i(i=S,P,V,A,T)$ 的相互作用来描述。为了我们的目的,我们又另外引进了五个违反宇称守恒的耦合常数,C'_i。杨振宁和我开始用这个推广了的宇称不守恒的相互作用系统研究当时已知的所有β衰变现象。我们循齐格班的书的路线疾速行进,并通过电话保持经常联系。两个星期之后我们完成了对整个β衰变的分析(在计算技巧上,杨振宁和我不相上下。这是一项工作量极繁重的计算。我们俩既是合作者,在这些紧张和广泛的计算中,又是互相竞争者,而且都是胜利者。任何把我们分成谁先谁后的企图都是毫无意义的)。

我们从允许谱出发,经过一番计算发现只要把通常的 $C_i^* C_j$ 换成:

$$C_i^* C_j + C'^*_i C'_j \tag{7}$$

就会得到与原来完全相同的β分布。接下来是禁戒谱,同样的现象发生了。然后我们计算了库伦效应,β-ν关联,β-γ关联以及(当时存在的)由极化核产生的β与γ的结果。虽然有的计算异常繁复,但只要我们作(7)式中的替换,所有的 C_i 与 C'_j 的干涉项最后一律抵消,用新的相互作用得到的结果与老的结果完全一致。

我们最终到达了齐格班书的结尾,用新的相互作用项导出了

⑫ K.Siegbahn.Beta and Gamma Ray Spectroscopy.Amsterdam:North-Holland Publishing Co.,1955

所有老的公式。因此很显然，在β衰变中还没有一个证据证明宇称是守恒的。我们凑在一起核对计算结果。在讨论中我们意识到，我们的计算很蠢，因为一定存在着一个很简单的理由说明为什么那些复杂的干涉项 $C_i^* + C'_j$ 互相抵消。当我们停止计算开始思考，在很短的时间内，我们就理解到，没有证据的原因在于一个简单的事实：即从来没有人尝试过在看起来左右对称的条件下观测一个物理上的赝标量。

从那时起，理论分析可以不依赖任何具体计算了。我们接着把研究范围拓广到其他过程，如 $\pi-\mu$ 衰变等。经过又一个月的紧张工作，我们完成了对这些过程的分析并写出了理论论文⑬。“宇称守恒不守恒”的下一场景开始了，有更多的人参加“演出”。

如何在β衰变中探测宇称不守恒这一实验问题尚待解决。为此我与吴健雄商讨了观测β衰变中自旋—动量关联的不对称性的最佳方案。她建议用强极化的钴60 β源的可能性，为此亟需一套低温设备，于是她与华盛顿的国家标准计量局取得联系。这就导致了后来吴健雄，安布勒(Ambler)，海沃德(Hayward)，霍普斯(Hoppes)和赫德逊(Hudson)的决定性实验⑭。几天以后，伽温，莱德曼(Lederman)和温瑞奇(Weinrich)的实验组⑮与费雷德曼(Friedman)，泰勒格奇(Telegdi)实验组⑯分别在 $\pi-\mu$ 衰变中也探测到宇称不守恒。由于积累奇异粒子衰变数据的实际困难，Λ衰变中的宇称不守恒是在半年以后才由斯坦伯格实验组确认⑰。

---

⑬ T. D. Lee, C. N. Yang: Phys. Rev., 1956, 104: 254

⑭ C.S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes, B. P. Hudson. Phys. Rev., 105: 1413

⑮ R. L. Garwin, L. M. Lederman, M. Weinrich. Phys. Rev., 105: 1415

⑯ J. J. Friedman, V. L. Telegdi. Phys. Rev., 105: 1681

⑰ F. Eisler. Phys. Rev., 1957, 108: 1353

关于合作的反思

在细述那些三四十年前快乐的日子时，我重读了杨振宁在1983年写的评论[18][19]。我再一次感到沮丧，对他写的十分吃惊。

例如，看看他所叙述的关于宇称不守恒的突破的过程。照他的说法，在4月末或5月初的一天，他从布鲁克海文到哥伦比亚大学来看我，我们在一家饭店里谈话时，他忽然有了一个在Λ衰变中探测宇称不守恒的想法。他还进一步说，当他告诉我他的想法时，我还反对。

事实的记录是：在杨振宁看我的那天之前几个星期，我已经有了那个想法。在4月初举行的罗彻斯特会后很短的时期内，我就把我的想法向斯坦伯格做了解释。事实上，在杨振宁看我的那天之前，布德，克瑞廷，雷特奈尔，塞缪斯，史瓦兹和斯坦伯格已经在哥伦比亚大学组织的实验组完成了第一个在Λ衰变中探测宇称不守恒的实验。在我和杨的理论论文发表之前，他们的结果已经发表在 Physical Review 杂志上[20]，而且文章中向我表示感谢。

在他的关于我们的合作的说法中，杨有意识地努力描绘一幅图像，把他自己从头到尾描绘成领路人，而把我描绘成一个跟随者。任何一位当年认识我们的物理学家都知道这是不正确的。我们的合作一直是平等的伙伴。我们的才能是不相同的，但是互相补充的。这正是我们的合作成功的理由。

杨还努力把这样的图像甚至扩大到我们早期在芝加哥的日

---

⑱ C. N. Yang. Selected Papers 1945 – 1980 with Commentary. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1983

⑲ 编者注：杨振宁的评论写于1982年10月，出版于1983年。

⑳ R. Budde, M. Chretien, J. Leitner, N. P. Samios, M. Schwartz, J. Steinberger. Phys. Rev., 1956, 103: 1827

子。照他的说法,虽然我是费米的学生,杨实际上是我的老师。这真是奇谈怪论,要知道费米是世界历史上最伟大的老师之一。在芝加哥大学,杨和我都是研究生。我们有很多讨论,很多互相帮助,我们都得益不少。杨怎么能错误地把初学者之间的这些意见交换跟我从费米那里得到的高水平的指导和教育等同起来?

从 1948 年 5 月到 1949 年 12 月费米指导我在一个广泛的领域内做研究,除了粒子物理和核物理之外,还包括高密物质的热传导、白矮星、星体稳定性、流体力学和磁流体力学。由此写出了好几篇论文,除了那篇李—罗森布鲁斯—杨三人合作的论文[21]外,没有一项是跟杨有关的。

杨振宁与我的合作约在二十五年前终止了。它的意义,反映在我们合写的论文中,经受了时间的考验。我们两人各自对物理学也做了很多其他贡献。我们的成就举世公认。这难道还不够吗?

㉑ T. D. Lee, M. Rosenbluth, C. N. Yang. Phys. Rev., 1949, 75:905

封面说明：

本书封面是按李政道教授的创意设计的。图案外围部分是很特殊的苏州刺绣艺术品，它是比照美国相对论性重离子对撞机（RHIC）上初次实现的金核与金核在20万亿电子伏特能量下对撞后，通过探测器和计算机处理所得的粒子径迹图像而绣制的；中心的太极图，表达因 θ 和 τ 粒子的不同衰变结果而揭示出来的宇称不守恒。



ISBN 7-5424-0929-8　定价：20.00 元